Nos 3-4 / 1983

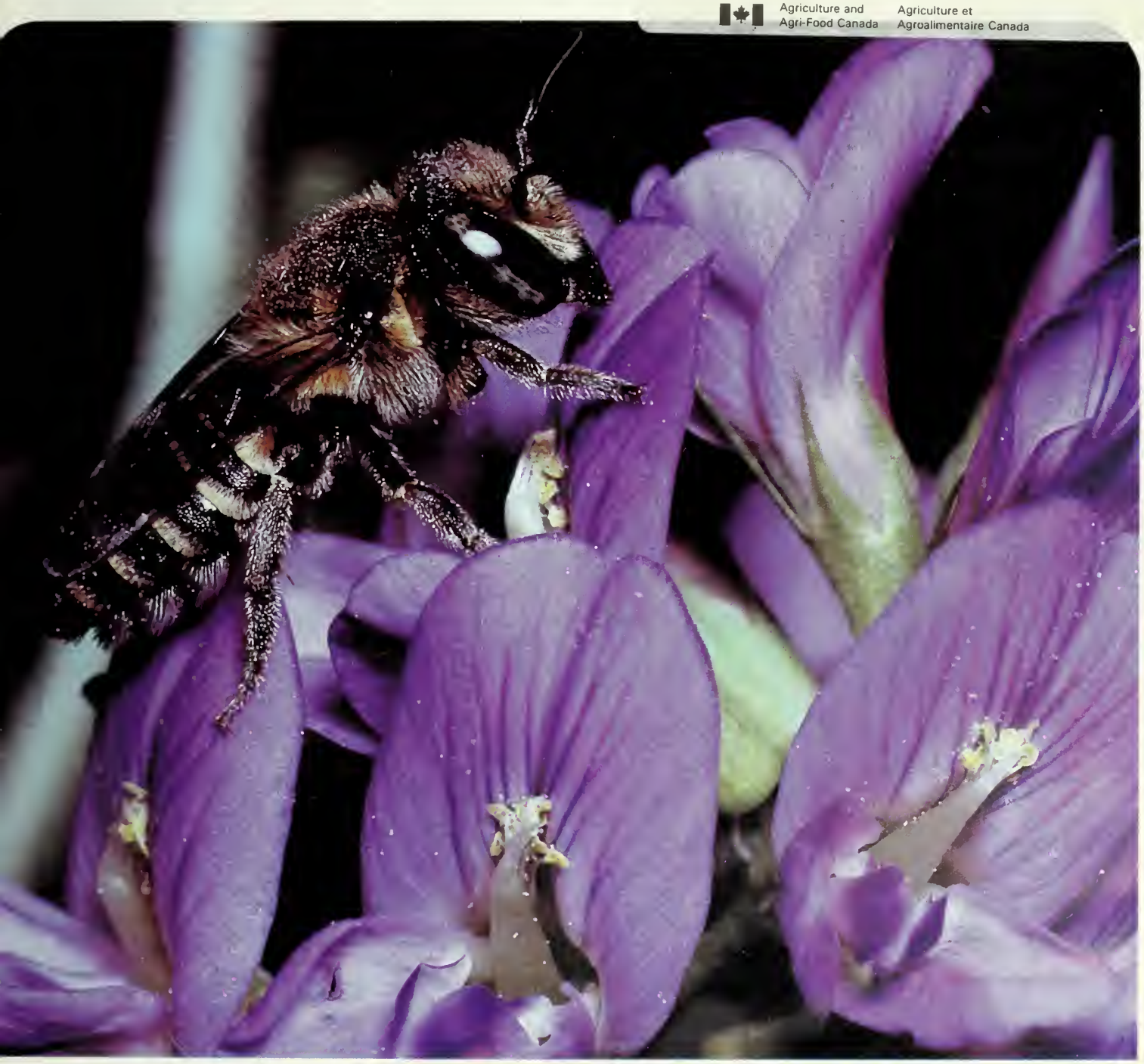
Canada Agriculture

Leafcutter bees—page 31
La découpeuse de la luzerne—page 31

Canadian Agriculture Library
Bibliothèque canadienne de l'agriculture
Ottawa K1A 0C5

Do not remove from
Library / Reading Room
Laisser dans la
bibliothèque / salle de lecture

Agriculture and Agri-Food Canada
Agriculture et Agroalimentaire Canada



Canada Agriculture

Volume 29 1983 No 3-4

Volume 29 1983 Nos 3-4

CANADA AGRICULTURE is published quarterly to inform extension workers and agribusinessmen of developments in research and other federal agricultural responsibilities.

Any article may be reproduced without special permission provided the source is given credit. If excerpts only are to be used, authors' permission should be obtained.

Reprinted articles must not be associated with advertising material. The use of trade names published in this journal implies no endorsement of the products named nor any criticism of similar products not mentioned.

Contributors may submit articles in either English or French to the Secretary, Editorial Board, Communications Branch, Agriculture Canada, Ottawa K1A 0C7.

CANADA AGRICULTURE est une revue trimestrielle qui renseigne les vulgarisateurs et représentants du négoce agricole sur les développements de la recherche et des autres services agricoles du gouvernement fédéral.

La reproduction des articles est permise en indiquant l'origine. Pour reproduire des passages, l'autorisation de l'auteur est nécessaire.

Les articles reproduits ne doivent pas servir à des fins de réclame. La mention de marques de fabrique ne signifie pas que la revue garantit ces produits ni qu'elle déconseille d'autres produits non mentionnés.

Les articles en anglais ou en français doivent être adressés au secrétaire du Comité de rédaction, La Direction générale des communications, Agriculture Canada, Ottawa K1A 0C7.

Agriculture Canada

Hon. Eugene Whelan,
Minister / Ministre

J.P. Connell,
Deputy Minister / Sous-ministre

PROFILE / PAGE 3

PROFIL / PAGE 3

FEATURES / PAGE 4

N_2 fixation in cereals / page 4

Insect sex pheromones in agriculture / page 10

Repellents protect cattle from black flies / page 14

ARTICLES DOCUMENTAIRES / PAGE 5

Fixation de l'azote dans les céréales / page 5

Les phéromones sexuelles des insectes en agriculture / page 11

Les répulsifs protègent le bétail contre les mouches noires / page 15

UPDATE / PAGE 18

Crop rotation studies, 1893 – 1982 / page 18

Can we control denitrification of prairie soils? / page 21

Monitoring the carrot weevil in Ontario / page 25

Compaction and settling of soils / page 28

Leafcutter bees revive alfalfa seed production / page 31

Rangelands recover slowly when vegetation is destroyed / page 34

New swather attachment helps farmers to trap snow / page 36

The effects of delayed chilling, hot-boning and electrical stimulation on cooking losses from, and palatability attributes of beef / page 38

MISE À JOUR / PAGE 18

Études sur l'assolement, 1893 – 1982 / page 18

Peut-on limiter la dénitrification dans les sols des Prairies?/ page 21

Détection du charançon de la carotte en Ontario / page 25

Compactage et tassement des sols / page 28

Les découpeuses relancent la production de semences de luzerne / page 31

Régénération lente des parcours après la destruction de la végétation / page 34

Un nouvel accessoire aide à retenir la neige dans les champs / page 36

Refroidissement retardé, désossage à chaud et stimulation électrique du bœuf / page 38

Cover Photo
Leafcutter bee in an alfalfa flower

Photo de la couverture
Une découpeuse de la luzerne à l'œuvre

Published by Communications Branch / Publié par la Direction générale des communications / Agriculture Canada

Melfort (Sask.) Research Station

The station, established in 1935, is on 420 ha in the Aspen parkbelt, 4 km south of the city of Melfort. It serves one of the largest, most productive and diversified agricultural areas in Canada, comprising 24% of Saskatchewan's (and 10% of Canada's) improved agricultural land. The region produces beef cattle, swine and a wide variety of cereal, oilseed, pulse and forage crops, and has its own canola and alfalfa processing industries.

At the station, specialists in forage, engineering, pasture, soils, ruminant nutrition and cattle management work as a team. They are heavily involved in devising energy-efficient forage production, harvesting, storage and utilization systems that are assessed by feeding the product to beef cattle and in the laboratory. An integral part of the program is developing more efficient methods of finishing beef cattle on rations, based largely on processed hay.

The station conducts a comprehensive beef cow-calf management project in cooperation with the Saskatchewan Department of Agriculture. The wintering phase evaluates housing, feeding and other management factors while the summer phase, carried out on 440 ha of community pasture, involves two systems of managing cows with calves on pasture and assesses the merits of early versus late-born calves.

Three scientists (crop specialist, agronomist and soil fertility specialist) are evaluating new varieties of cereal, oilseed and special crops, developing methods of controlling weeds in crops (particularly canola) and determining effective use of fertilizers. They are also developing sound agronomic practices that will give best production without adversely affecting the productive capacity of the soils.

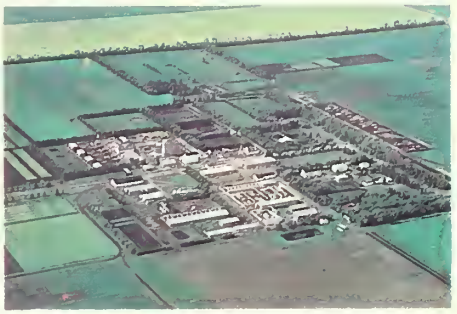
Station de recherches de Melfort (Sask.)

La Station, mise sur pied en 1935, comprend 420 ha dans la région boisée d'Aspen, à 4 km au sud de la ville de Melfort, dans une des régions agricoles les plus productives et les plus diversifiées du Canada, qui englobe 15 p. 100 des terres agricoles améliorées de la province (10 p. 100 de celles du Canada). On y produit des bovins, des porcs et toute une gamme de céréales, d'oléagineux, de légumineuses et de céréales fourragères. On y trouve aussi des usines de transformation du canola et de la luzerne.

À la Station, des spécialistes en céréales fourragères, en génie, en pâturage, en pédologie, en nutrition des ruminants et en conduite des troupeaux, travaillent à créer des systèmes de production, de récolte, d'entreposage et d'utilisation des fourrages, efficaces du point de vue énergétique. On en fait l'évaluation, soit en administrant le produit au bétail, soit en laboratoire. La recherche, pour nourrir les bovins de finition à partir de rations composées d'abord de foin transformé, fait partie intégrante du programme.

On mène en outre, en collaboration avec le ministère de l'Agriculture de la Saskatchewan, un projet de recherche intégré sur le naissage des bovins de boucherie. Pendant l'hiver, on étudie le logement, l'alimentation et d'autres facteurs de gestion; pendant l'été, dans un pâturage communautaire de 440 ha, on compare deux systèmes d'élevage où les vaches sont laissées avec leur veau, de même que les avantages du naissage en début et en fin de saison.

Trois chercheurs (spécialistes des cultures, de la fertilité des sols et en agronomie) se consacrent à l'évaluation des nouvelles variétés de céréales, d'oléagineux et de cultures spéciales, à la lutte contre les mauvaises herbes, particulièrement dans la culture du canola, à l'efficacité de l'utilisation des engrais. Ils élaborent des pratiques culturales qui permettront d'obtenir des rendements optimaux sans nuire à la fertilité des sols.



Aerial view of the Melfort Research Station.

Vue à vol d'oiseau de la Station de recherches de Melfort

Main office building at Melfort Research Station

Bâtiment principal de la Station de recherches

Dr. S.E. Beacom, Director

Le directeur, le docteur S.E. Beacom

N_2 fixation in cereals

R.J. Rennie

Western Canadian farmers use approximately 570 000 t of fertilizer nitrogen each year which, at 1982 prices, would be valued at $400 million. Most of this is spent on fertilizing cereals, primarily wheat and barley. If N_2 fixation could supply 10% of these plants' nitrogen requirement, the saving would be approximately $40 million each year. Fertilizer nitrogen prices have been increasing at a rate of 20-25% in each of the last 3 years while prices paid for farm products, particularly wheat, have been falling. In Manitoba, 20% of the agricultural land is in fallow. In Saskatchewan the amount is 35% and in Alberta 40%, for a total of 10.8 million hectares. The practice of fallowing is now in disrepute due to damage to native soil fertility, inefficient water storage, and salinity problems. To alleviate these problems, farmers will begin to decrease the amount of land left fallow. Thus, more land will be in production annually and more fertilizer nitrogen will have to be applied (at higher annual prices) to ensure optimal yields. Economically, this is simply not possible. Another form of plant-available nitrogen must be found and biological N_2 fixation may be the key.

Recent research in Brazil, India, the Philippines, and Canada (at the Lethbridge Research Station) has shown that N_2 fixation occurs in association with grasses and cereals. For years, scientists have been misled because N_2-fixing macrosymbionts in the *Gramineae* did not have nodules on their roots and because the amounts of N_2 fixed were much lower than in legumes. These amounts could not be readily detected until more sensitive analytical techniques were developed. Now, N_2 fixation is known to occur in association with rice, sugar cane, maize (corn), pearl millet, sorghum, several tropical grasses, and even wheat.

Figure 1. Disomic chromosome substitution lines R-C5B inoculated with Bacillus C-11-25 N_2-fixing bacillus or, left, uninoculated.

Figure 1. Lignées de blé R-C5B ayant subi une modification de leurs chromosomes disomiques et inoculées (bacille nitrifiant Bacillus *C-11-25) ou non inoculées.*

N_2 Fixation in Major World Cereal Crops

N_2 fixation occurs at levels which may add significant amounts of nitrogen to nitrogen-deficient ecosystems of the tropics. Blue-green algae form a symbiotic association with a small water fern called *Azolla* and this N_2-fixing association supplies up to 50 km N/ha each year in flooded rice paddies. The farmer inoculates his flooded paddy with *Azolla* which blooms much like an algae do on a lake (considered pollution in recreation-oriented North America). The *Azolla* takes energy from the sun through photosynthesis and gives it to algae to power the N_2-fixing process. Later, the farmer drains his paddy and, with wooden plow and water buffalo, plows down this "green manure". The paddy is then reflooded and planted to rice. The nitrogen mineralized from the fern has been sufficient for good yields of rice in Asia without the addition of costly fertilizer nitrogen. This practice has been used for centuries in Vietnam and China but the reason for its success was not understood until recently.

Tropical grasslands called savannahs have supported native vegetation that has fed livestock for centuries, without human input. The nitrogen that permits this dry matter production is now known to come from associated N_2 fixation.

Sugar cane is the main agricultural crop of Brazil. Not only is it the main export crop as sugar (earning hard currency for the country), it is also used to produce alcohol and gasohol, thus reducing costly imports of petroleum products. In the state of Sao Paulo, sugar cane is not fertilized with nitrogen even though yields of 70 t/ha are common on continuously cropped land. N_2-fixing bacteria have been

Fixation de l'azote dans les céréales

R.J. Rennie

Les agriculteurs de l'Ouest canadien font l'application d'environ 570 000 tonnes d'engrais azotés par année, ce qui représente 400 millions de dollars aux prix de 1982. La plupart de ces engrais servent à la fertilisation des céréales, principalement du blé et de l'orge. Si la fixation de l'azote pouvait fournir aux cultures 10 p. 100 de leurs besoins en azote, l'épargne réalisée s'élèverait à environ 40 millions de dollars chaque année. Au cours des trois dernières années, les prix des engrais azotés ont augmenté de 20 à 25 p. 100 par année, tandis que les prix obtenus pour les produits agricoles, surtout le blé, ont diminué. Au Manitoba, 20 p. 100 des terres agricoles sont en jachère; en Saskatchewan, 35 p. 100 le sont et en Alberta, 40 p. 100, ce qui fait au total 10,8 millions d'hectares. Le bien-fondé de la pratique de la jachère est maintenant mis en doute, étant donné les dommages occasionnés à la fertilité initiale du sol, le stockage inefficace de l'eau et les problèmes de salanité. Afin d'alléger ces problèmes, les agriculteurs commenceront à réduire les superficies laissées en jachère. Par conséquent, il y aura plus de terres en production chaque année et il faudra, pour obtenir des rendements optimaux, appliquer de plus grandes quantités d'engrais azotés (à des prix annuels plus élevés). Cela n'est pas économiquement rentable. Il faut trouver une autre forme d'azote assimilable par les plantes, et la solution réside peut-être dans la fixation biologique de l'azote.

Figure 2. Effect of inoculation of durum variety Hercules with N_2-fixing bacteria: Bacillus C-11-25 from southern Alberta and Azospirillum brasilense from Brazil.

Figure 2. Effets, sur a) la variété de blé durum Hercules et b) la variété de blé de printemps CT-609, de l'inoculation de bactéries nitrifiantes, soit Bacillus *C-11-25 provenant du sud de l'Alberta et* Azospirillum brasilense *provenant du Brésil.*

Des recherches récentes au Brésil, en Inde, aux Philippines et au Canada (Station de recherches de Lethbridge) ont montré que les graminées et les céréales fixent l'azote. Pendant des années, les chercheurs ont été induits en erreur par le fait que les macrosymbiotes fixateurs de l'azote présents dans les *Graminineae* ne provoquaient pas de nodosités sur les racines et que les quantités d'azote fixé par ces organismes étaient nettement moins importantes que pour les légumineuses. Il était difficile de détecter les quantités d'azote transformé jusqu'à ce qu'on mette au point des techniques d'analyse plus fine. À l'heure actuelle, on sait que le riz, la canne à sucre, le maïs, le millet perlé, le sorgho, plusieurs graminées des régions tropicales et même le blé fixent l'azote.

Fixation de l'azote chez les principales cultures céréalières du monde

Dans les régions tropicales, la fixation de l'azote peut signifier un apport de quantités importantes d'azote aux écosystèmes qui en sont déficitaires. Les algues bleu-vert vivent en symbiose avec une fougère aquatique de petite taille *(Azolla)*, et cette association nitrifiante fournit annuellement jusqu'à 50 kg d'azote par hectare aux rizières inondées. L'agriculteur inocule *Azolla* dans sa rizière inondée et la petite plante fleurit à la manière d'une algue à la surface d'un lac (phénomène considéré comme de la pollution en Amé-

shown to fix up to 30 kg N/ha, saving the Brazilian agricultural industry $30 million Canadian each year.

In India, sorghums and pearl millets have been shown to benefit from N_2 fixation by root-associated bacteria. Actual amounts of N_2 fixation have not been determined in the field.

In most of these crops, the levels of N_2 fixation seldom exceed 20 to 30 kg N/ha each year. However, these may result in significant yield increases because the soil nitrogen levels are low and fertilizer nitrogen is far too expensive for the average farmer in the tropics to apply.

N_2 Fixation in Wheat: Dream or Reality?

In Canada, fertilizer nitrogen is less expensive than in developing countries and the native soil fertility, although deteriorating, is generally much higher. High-intensity agriculture and plant breeding programs based on high levels of nutrient application will not encourage the discovery of N_2-fixing symbioses with cereals. Does research to exploit and maximize N_2 fixation with wheat, western Canada's major crop, have any future?

Only two scientific groups in the world are concentrating on N_2 fixation in association with wheat. One is based in Canada, the other in Israel.

Research at the Lethbridge Research Station has shown that certain genetically modified lines of spring wheat can support N_2 fixation by bacteria associated with their roots. Furthermore, some of these lines actually benefit because the N_2-fixing bacteria give part of the fixed nitrogen to the plant. Under conditions of nitrogen-free growth in the phytotron, up to 63% of the plant nitrogen was derived from N_2 fixation (Table 1). Under field conditions in southern Alberta, up to 15% of the plant nitrogen came from N_2 fixation, an amount equivalent to a fixation rate of 10-15 kg N fixed/ha. Greenhouse experiments undertaken in Brazil showed that up to 28% of the plant nitrogen was derived from N_2 fixation by bacteria.

The genetic manipulation of a single chromosome, 5B, in spring wheat lines (Cadet-Rescue) can turn this associated bacterial N_2 fixation on or off. The 5B chromosome is responsible for reaction to the common root rot fungus, *Cochliobus* sp. It is also involved in controlling N_2 fixation by root-associated bacteria associated with these

Figure 3. Effect of inoculation of spring wheat variety CT-609 with N_2-fixing bacteria.

Figure 3. Effets de l'inoculation de bactéries nitrifiantes à la variété CT-609 de blé de printemps.

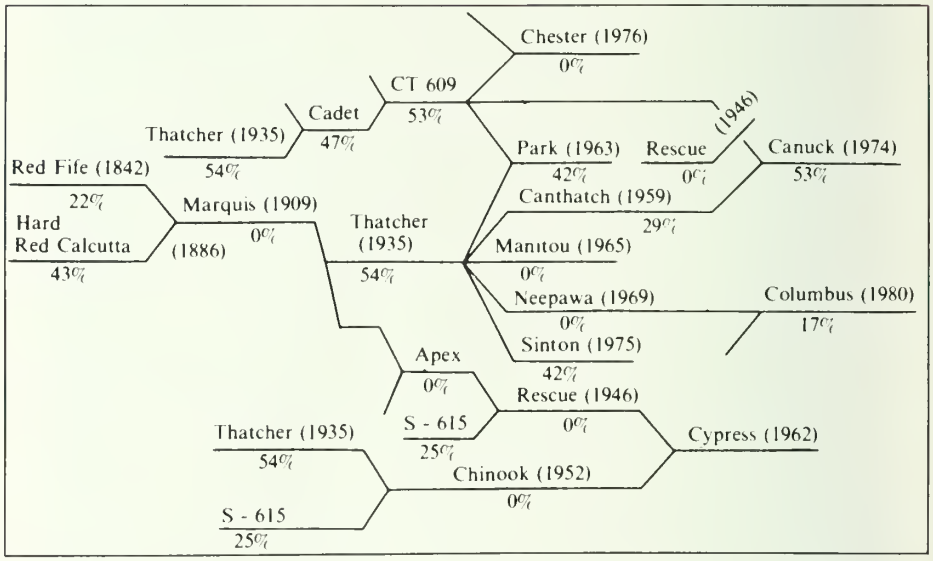


Figure 4. %Ndfa (% N [plant] derived from the atmosphere) in western Canadian hard red spring wheats due to inoculation with Bacillus C-11-25, presented as a simplified schema of ancestry. (From Rennie, de Freitas, and Morrison.)

*Figure 4. Pourcentage de l'azote de l'air du sol assimilé par des blés durs roux de printemps de l'ouest canadien inoculés (*Bacillus *C-11-25), présenté sous forme d'un schéma généalogique simplifié. (Tiré de l'article de Rennie, Freitas et Morrison.)*

rique du Nord où l'on privilégie l'utilisation des nappes d'eau à des fins de loisirs). L'*Azolla* tire de l'énergie de la lumière solaire grâce à la photosynthèse et transmet cette énergie aux algues qui l'utilisent pour la nitrification. Par la suite, l'agriculteur draine sa rizière et, avec une charrue en bois tirée par un kérabau, la laboure pour y incorporer cet engrais vert. Puis, la rizière est inondée de nouveau et repiquée. L'azote minéralisé à partir de la fougère est en quantité suffisante pour assurer en Asie de bons rendements en riz sans l'ajout d'engrais azotés coûteux. Cette pratique est utilisée depuis des siècles au Viêt-Nam et en Chine, mais on n'a compris que tout récemment la raison de son succès.

Les herbages des régions tropicales, appelées savanes, ont constitué le support de la végétation indigène dont se nourrit le bétail depuis des siècles, sans l'intervention de l'homme. On sait maintenant que l'azote qui permet la production de cette matière sèche provient de la fixation de l'azote par les plantes.

La canne à sucre est la plus importante culture du Brésil. Non seulement constitue-t-elle, sous forme de sucre, la principale exportation (et une source de monnaies fortes pour le pays), mais elle sert également à la production d'alcool et d'essence-alcool, ce qui permet au Brésil de réduire les importations coûteuses de produits du pétrole. Dans l'État de Sao Paulo, les agriculteurs n'ajoutent pas d'engrais azotés aux cultures de canne à sucre et, malgré cela, ils obtiennent couramment des rendements de 70 t/h, sur des terres continuellement en culture. Il a été démontré que les bactéries nitrifiantes fixent jusqu'à 30 kg/h d'azote, ce qui signifie une économie annuelle de 30 millions de dollars canadiens pour l'industrie agricole brésilienne.

En Inde, des études ont montré que les sorghos et les millets perlés pouvaient tirer profit de la fixation de l'azote grâce à des bactéries associées aux racines. Les quantités réelles d'azote fixé par les bactéries n'ont pas été déterminées sur le terrain.

Les taux annuels de fixation de l'azote dépassent rarement de 20 à 30 km/h d'azote. Cependant, ces taux peuvent donner lieu à des augmentations importantes de rendement car, dans les régions tropicales, le sol contient peu d'azote organique et les agriculteurs n'ont pas les moyens d'appliquer des engrais azotés.

Figure 5. C-11-25 Bacillus sorbed to the surface of wheat roots. (Photo courtesy of J.L. Neal and J. Derbyshire)

Figure 5. Bacillus *C-11-25 sorbé à la surface des racines du blé. (Photographie fournie par J.L. Neal et J. Derbyshire.)*

Fixation de l'azote par le blé: rêve ou réalité?

Au Canada, les engrais azotés coûtent moins cher que dans les pays en voie de développement, et la fertilité du sol indigène, bien qu'en voie de détérioration, est généralement beaucoup plus élevée. La pratique de l'agriculture intensive et les programmes de sélection des plantes fondés sur l'application de grandes quantités d'éléments nutritifs ne favorisent pas la découverte de symbiotes nitrifiants associés aux céréales. Y a-t-il un avenir pour la recherche visant à exploiter et à optimiser la fixation de l'azote dans le cas du blé, principale culture de l'ouest du Canada?

Il n'y a que deux groupes de chercheurs au monde qui étudient la fixation de l'azote associée au blé. L'un est au Canada; l'autre, en Israël.

Des recherches menées à la Station de recherches de Lethbridge ont montré que certaines lignées de blé de printemps, ayant subi des modifications génétiques, peuvent constituer un support à la fixation de l'azote accomplie par les bactéries associées à leurs racines. De plus, certaines de ces lignées tirent profit de cette association parce que les bactéries nitrifiantes leur fournissent une partie de l'azote qu'elles fixent. Dans des conditions de croissance sans azote réalisées dans un phytotron, jusqu'à 63 p. 100 de l'azote de la plante était attribuable à la fixation de l'azote (tableau 1). Dans des essais sur le terrain dans le sud de l'Alberta, ce pourcentage était de 15 p. 100, ce qui équivaut à un taux de fixation de 10 à 15 kg/h d'azote. Dans des essais en serre au Brésil, jusqu'à 28 p. 100 de l'azote utilisé par la plante provenait de l'azote fixé par les bactéries.

La manipulation génétique d'un seul chromosome, 5B, de lignées de blé de printemps (Cadet-Rescue) peut susciter ou bloquer la fixation bactérienne de l'azote. Ce chromosome réagit aux champignons responsables du piétin commun, certaines espèces de *Cochliobus*; en outre, il joue un rôle dans la fixation de l'azote accomplie par les bactéries vivant en symbiose dans les racines de ces lignées de blé. Comme c'est le cas pour les souches de bactéries du genre rhizobium et les légumi-

Table 1. % Ndfa[1] in disomic chromosome substitution lines of spring wheat derived from N_2 fixation mediated by *Bacillus* C-11-25 or *Azospirillum brasilense* ATCC 29145 in three separate experiments

	Phytotron[2]		Alberta field[3]	Brazilian soil[4]	
Variety	*Bacillus* C-11-25	*A. brasilense*	*Bacillus* C-11-25	*Bacillus* C-11-25	*A. brasilense*
Cadet (C)	26.5	37.7	0	18.2	15.0
Rescue (R)	0	0	0	NG[5]	0
C-R2A[6]	27.6	54.3	11.5	10.1	28.9
C-R2D	63.0	43.4	13.9	32.2	14.3
C-R5B	0	21.8	0	0	0
C-R5D	45.6	28.2	15.3	23.2	NG[5]

[1] Percent N (plant) derived from atmosphere
[2] Rennie and Larson (1979)
[3] Rennie and Larson (1981)
[4] Rennie et al. (1983)
[5] No germination
[6] Recipient-donor chromosome

wheat plants. As is the case with strains of rhizobial bacteria and legumes, different N_2-fixing bacteria fix N_2 in association with different plants. Thus, *Azospirillum brasilense* isolated from Brazilian *Digitaria* roots fixed N_2 with the C-R5B wheat line while *Bacillus* C-11-25 isolated from southern Alberta soils did not. Alteration of the genetic nature of these wheat lines can increase the amount of N_2 fixed. *Bacillus* C-11-25 was in general most efficient in association with C-R2D and C-R5D. Cadet and C-R2A were the least responsive. For *A. brasilense*, C-R2A was the most responsive. These genetic modifications represent a change of a single chromosome pair in the wheat — any physiological or morphological change noted in the plant is due uniquely to this substitution.

These experiments demonstrated that significant amounts of N_2 fixation could occur in association with specially modified genetic lines of spring wheat. However, because the amount of N_2 fixed is not enough to replace present levels of fertilizer nitrogen additions (averaging 70 kg N/ha each year), these lines cannot be used as commercial cultivars in western Canada due to lack of agronomic adaptability and will serve only as germplasm for breeding purposes.

Fortunately, repeated tests in the greenhouse with over 40 varieties of hard red spring, winter, soft white spring, durum and utility wheats have demonstrated that approximately 25% have the ability to benefit from N_2 fixation by the associated root bacteria *Bacillus* C-11-25 (Figure 4). This implies that the ability of wheat to support N_2 fixation has not been lost even though modern plant breeding strategies have selected under fertile conditions for maximum yield.

Several questions remain to be answered. Why do the other 75% of the wheat varieties tested not support N_2 fixation? What can be done by genetically manipulating either the N_2-fixing bacterium or the wheat cultivar: (1) to make all wheat varieties benefit from N_2 fixation, and (2) to increase the amount of N_2 fixed by the bacterium such that it can totally replace applied fertilizer nitrogen?

These questions and others were discussed at the Second International Symposium on N_2 Fixation with Non-Legumes, held at Banff, Alberta in September, 1982. One hundred and twenty-five scientists from 22 countries participated in the discussions. In his address to the delegates, the Honourable Eugene Whelan, Minister of Agriculture, stressed the role of Canadian research in N_2 fixation studies and Canada's continuing commitment to develop and transfer this technology to developing countries.

References

Rennie, R.J. and R.I. Larson. 1979. Dinitrogen fixation associated with disomic chromosome substitution lines of spring wheat. Can. J. Bot. 57:2711-2775.

Rennie, R.J. and R.I. Larson. 1981. Dinitrogen fixation associated with disomic chromosome substitution lines of spring wheat in the phytotron and in the field. *In* Associative N_2-Fixation (P.B. Vose and A.P. Ruschel, Eds.) CRC Chemical Press. Boca Raton, FL. Vol. 1:145-154.

Rennie, R.J., J.R. de Freitas, A.P. Ruschel and P.B. Vose. 1983. ^{15}N isotope dilution to quantify dinitrogen (N_2) fixation associated with Canadian and Brazilian wheat. Can. J. Bot. 61 (in press).

Rennie, R.J., J.R. de Freitas and R.J. Morrison. Tracing dinitrogen (N_2) fixation throughout the development of Canadian wheats. (Submitted to Can. J. Bot., 1982.)

Dr. Rennie is a Research Scientist with Agriculture Canada's Lethbridge Research Station.

Tableau 1. Pourcentage de l'azote de l'air du sol assimilé par les lignées de blé de printemps ayant subi une modification de leurs chromosomes disomiques et obtenu de la fixation de l'azote accomplie par *Bacillus* C-11-25 ou *Azospirillum brasilense* ATCC 29145, dans trois expériences distinctes

	Phytotron[1]	Parcelle en Alberta[2]	Sol du Brésil[3]		
Variété	*Bacillus* C-11-25	*A. brasilense*	*Bacillus* C-11-25	*Bacillus* C-11-25	*A. brasilense*
Cadet (C)	26,5	37,7	0	18,2	15,0
Rescue (R)	0	0	0	AG[4]	0
C-R2A[5]	27,6	54,3	11,5	10,1	28,9
C-R2D	63,0	43,4	13,9	32,2	14,3
C-R5B	0	21,8	0	0	0
C-R5D	45,6	28,2	15,3	23,2	AG[4]

[1] Rennie et Larson (1979).
[2] Rennie et Larson (1981).
[3] Rennie et coll. (1983).
[4] Aucune germination.
[5] Chromosome receveur-donneur.

neuses, différentes bactéries nitrifiantes fixent l'azote en symbiose avec différentes plantes. Ainsi, *Azospirillum brasilense*, isolé des racines de *Digitaria* que l'on trouve au Brésil, fixait l'azote en symbiose avec des lignées de blé C-R5B, tandis que *Bacillus* C-11-25, isolé des sols du sud de l'Alberta, ne le pouvait pas. La modification des caractères génétiques de ces lignées de blé peut faire augmenter la quantité d'azote qui est fixée. De façon générale, *Bacillus* C-11-25 s'est montré le plus efficace à cet égard, lorsqu'on l'associait aux lignées C-R2D et C-R5D. De piètres résultats ont été obtenus dans le cas des lignées Cadet et C-R2A. Dans le cas de *A. brasilense*, c'est avec les lignées C-R2A qu'on a obtenu les meilleurs résultats. Les manipulations génétiques comportent la modification d'une seule paire de chromosomes du blé, et tout changement physiologique ou morphologique observé chez la plante est uniquement attribuable à cette modification.

Ces expériences ont montré que des lignées de blé de printemps spécialement modifiées sur le plan génétique pouvaient favoriser la fixation de quantités importantes d'azote. Cependant, étant donné que la quantité d'azote fixée par les bactéries n'est pas suffisante pour qu'on puisse éliminer les ajouts actuels d'engrais azotés (en moyenne 70 kg/h d'azote chaque année), les lignées de blé dont il est question ne peuvent pas être utilisées à l'échelle commerciale dans l'ouest du Canada en raison de leur manque d'adaptabilité agronomique. Pour l'instant, elles ne servent que de germen à des fins de sélection.

Heureusement, des essais répétés en serre avec plus de quarante variétés de blé dur roux de printemps, d'hiver, tendre blanc de printemps, durum et d'utilité générale ont montré que environ 25 p. 100 des cultivars étudiés peuvent tirer profit de l'azote fixé par la bactérie *Bacillus* C-11-25 vivant en symbiose dans leurs racines (Figure 1). Cette constatation signifie que le blé n'a pas perdu sa capacité d'assimiler l'azote fixé par les bactéries, bien qu'on sélectionne les cultivars dans des sols fertilisés afin d'obtenir des rendements maximums.

Plusieurs questions sont encore sans réponse. Pourquoi les 75 p. 100 restants des variétés de blé ne favorisent-elles pas la fixation de l'azote? Quelles manipulations génétiques peut-on faire subir à la bactérie nitrifiante ou au cultivar de blé pour: a) permettre à toutes les variétés de blé de tirer profit de la fixation de l'azote; et b) augmenter la quantité d'azote fixée par la bactérie de façon à éliminer complètement les engrais azotés?

Toutes ces questions et bien d'autres ont été étudiées lors du Deuxième Symposium international sur la fixation de l'azote chez les non-légumineuses, qui s'est tenu à Banff, en Alberta, en septembre 1982. Cent vingt-cinq chercheurs provenant de vingt-deux pays ont participé aux discussions. Dans son discours aux délégués, M. Eugène Whelan, ministre de l'Agriculture, a mis en valeur le rôle du Canada dans les recherches sur la fixation de l'azote et son engagement permanent envers les pays en voie de développement à leur transmettre les techniques que nous mettons au point.

Bibliographie

Rennie, R.J. et R.I. Larson. 1979. «Dinitrogen fixation associated with disomic chromosome substitution lines of spring wheat.» dans *Journal canadien de botanique*, nº 57, p. 2711-2775.

Rennie, R.J. et R.I. Larson. 1981. «Dinitrogen fixation associated with disomic chromosome substitution lines of spring wheat in the phytotron and in the field», dans *Associative N_2-Fixation* (P.B. Vose et A.P. Ruschel, éditeurs), CRC Chemical Press, Boca Raton, Floride, Vol. 1, p. 145-154.

Rennie, R.J., J.R. de Freitas, A.P. Ruschel et P.B. Vose. 1983. «^{15}N isotope dilution to quantify dinitrogen (N_2) fixation associated with Canadian and Brazilian wheat», dans *Journal canadien de botanique*, nº 61 (en voie d'impression).

Rennie, R.J., J.R. de Freitas et R.J. Morrison. «Tracing dinitrogen (N_2) fixation throughout the development of Canadian wheats», (article soumis au *Journal canadien de botanique* en 1982).

Le docteur R.J. Rennie travaille comme chercheur à la Station de recherches d'Agriculture Canada, à Lethbridge.

Insect sex pheromones in agriculture

D.L. Struble

Some common lepidopterous pests of agricultural crops are the beet webworm, bertha armyworm, European corn borer, and numerous cutworms such as redbacked, darksided, pale western, variegated, army, clover, and striped, to name only a few. Every crop is subject to attack by some of these pests. Localized infestations are common throughout Canada and outbreaks, although relatively rare, can be devastating. Their attack often comes as a surprise because the larvae are very small and difficult to detect until the crop damage is extensive (Figure 1).

One way of predicting the number of larvae in an area is to monitor the abundance of moths in the preceding generation. A monitoring technique can be based on the natural communication system used by male and female moths for mating. In nature, the female attracts her mate by emitting minute quantities of a chemical blend into the air. The chemicals are called sex pheromones and are species-specific. Males "smell" these with the olfactory receptors on their antennae which scent only the pheromones of their own species. Once the pheromone components of a particular species have been identified and synthesized, synthetic blends can be used as trap baits to capture and monitor male moths.

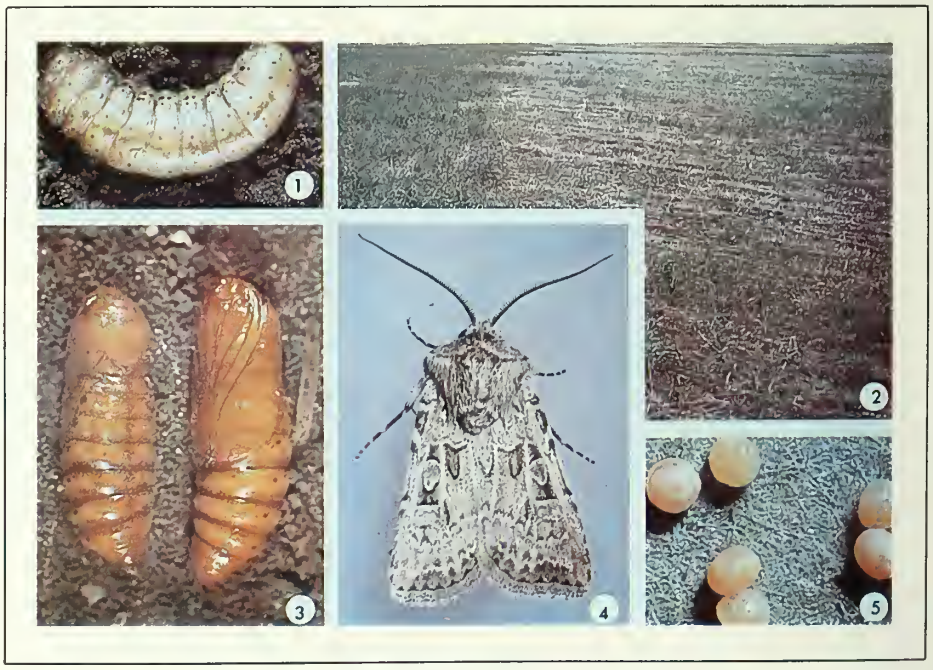
The isolation and identification of sex pheromone components has been a great challenge for chemists. To determine how to recover the pheromone from the female moths it was necessary to study their mating behavior. Since most of our species are nocturnal, night conditions were reproduced in the laboratory and the female moths were found to adopt a "calling" behavior when they released pheromone. This consisted of extending their abdomen tip and exposing the pheromone gland at the base of their ovipositor (Figure 2). Male moths exhibited strong sexual responses when exposed to an upwind "calling" female, which provided evidence that the female was releasing pheromone (Figure 3). Extracts of "calling" glands contained from 1 to 15 nanograms of pheromone components per female (1 nanogram = 1×10^{-9} g). A decade ago at least 1 mg (1×10^{-3} g) of pheromone was needed for purification and structural identification. This required thousands of female moths, but large numbers of most cutworms could not be reared easily in the laboratory because the larvae became cannibalistic and diseased when kept under crowded conditions. In most cases it was not possible to use field-collected females because usually they were already mated and no longer produced pheromone.

Many microanalytical methods have been developed over the past decade and several of these have been adapted for the identification of pheromone components at the nanogram level. Some of the most important developments have been in gas chromatography (GC), in specific detectors for GC, and in mass spectrometry.

In GC, the development of high-resolution glass capillary columns has permitted the detection and separation of nanogram quantities of most pheromone components in extracts from female glands. Glass capillary columns are made from coils of thin-walled glass tubing that are often up to 100 m long with an internal diameter of 0.3 mm.

Figure 1. Typical crop damage and life stages of pale western cutworm:
(1) larva;
(2) crop damage by larval infestation;
(3) pupae;
(4) female moth;
(5) eggs.

Figure 1. Stades de développement du ver-gris orthogonal et dégâts qu'il cause aux cultures.
1. *Larve*
2. *Dégâts causés aux cultures par une infestation de larves*
3. *Pupe*
4. *Insecte femelle*
5. *Oeufs.*



Les phéromones sexuelles des insectes en agriculture

D.L. Struble

Parmi les lépidoptères courants qui infestent les cultures, il y a la tisseuse de la betterave, la légionnaire bertha, la pyrale du maïs, et de nombreux vers-gris: vers-gris à dos rouge, moissonneur, orthogonal, panaché, rayé, du trèfle et la légionnaire grise, pour n'en nommer que quelques-uns. Les cultures sont toutes susceptibles d'être attaquées par l'un ou l'autre de ces ravageurs. Il y a souvent des foyers d'infestation disséminés au Canada; les invasions, quand même assez rares, peuvent dévaster les champs. L'attaque de ces insectes vient souvent par surprise car les larves sont minuscules et difficiles à détecter avant qu'elles ne causent de sérieux dégâts (Figure 1).

Une façon de prédire le nombre de larves dans une région consiste à dénombrer les insectes de la génération précédente. La technique de dénombrement peut reposer sur le système de communication naturel utilisé par le mâle et la femelle lors de l'accouplement. Dans la nature, les femelles de toutes les espèces de lépidoptères attirent leur partenaire en répandant dans l'air des quantités infimes d'un mélange particulier de substances chimiques. Ces substances chimiques sont appelées phéromones sexuelles et elles sont spécifiques à chaque espèce. Les mâles détectent ces substances à l'aide de récepteurs olfactifs situés sur leurs antennes et ne détectent spécifiquement que les substances produites par la femelle de la même espèce. Une fois identifiés et synthétisés les composants de la phéromone d'une espèce, on peut utiliser cette phéromone synthétique comme leurre pour capturer les mâles et les dénombrer.

L'isolation et l'identification des constituants des phéromones sexuelles ont constitué un grand défi pour les chimistes. Il a fallu étudier le comportement des femelles de l'accouplement pour déterminer comment obtenir les phéromones. Comme la plupart des espèces de nos régions sont nocturnes, on a recréé les conditions d'obscurité en laboratoire et on a observé que les femelles adoptent un comportement «prénuptial» particulier lorsqu'elles émettent des phéromones. Elles étirent l'extrémité de leur abdomen et exposent leur glande à phéromone à la base de leur ovipositeur (Figure 2). Les mâles témoignent d'une forte réaction sexuelle lorsqu'ils perçoivent les émanations d'une femelle qui a ce comportement, indiquant qu'elle produit une phéromone (Figure 3). À l'extraction, les glandes à phéromone de femelles qui adoptent ce comportement «prénuptial», contenaient, de 1 à 15 nanogrammes de constituants phéromonaux par femelle (1 nanogramme = 1×10^{-9} grammes). Il y a dix ans, pour purifier et déterminer la structure d'une phéromone, il en fallait au moins 1 milligramme (1×10^{-3} grammes), ce qui nécessitait des milliers de femelles. Toutefois, les vers-gris sont difficiles à élever en grand nombre en laboratoire car les larves deviennent cannibales et malades lorsqu'elles sont confinées en trop grand nombre. La plupart du temps, il n'était pas possible d'utiliser des femelles capturées dans la nature car, bien souvent, elles s'étaient déjà accouplées et ne produisaient plus de phéromone.

Figure 2. A "calling" female turnip cutworm moth.

Figure 2. Comportement prénuptial du ver-gris femelle du navet.

De nombreuses microméthodes d'analyse ont été mises au point au cours des dix dernières années, et plusieurs d'entre elles ont été adaptées à l'identification des constituants des phéromones à des concentrations de l'ordre du nanogramme. Certains des progrès les plus marquants ont été réalisés dans le domaine de la chromatographie en phase gazeuse, dans les détecteurs spécifiques qui y sont utilisés et dans la spectrométrie de masse.

En chromatographie en phase gazeuse, la mise au point de colonnes capillaires en verre à haute résolution a

The inside of the glass tubing is coated with special liquids that provide the high resolution required for separation.

A standard GC detector for these analyses is a hydrogen-air flame called a flame ionization detector (FID). Typical FID responses to a relatively "clean" pheromone extract are illustrated in Figure 4. An FID is non-specific and usually only a few of the compounds detected in an extract are involved with the sex pheromone while the others are from the female body tissue. To determine which compounds in an extract are pheromone related, we have taken advantage of the sensitive and specific olfactory receptors on the antennae of the male moths. An antenna is connected to an electronic amplifier and placed on the GC so that some of the effluent from the glass capillary column passes directly over it. When the receptors on the antenna are triggered by a pheromone component, the nerve impulse that would normally go to the brain of the moth is recorded on the chromatogram (Figure 4). This is called an electroantennographic detector (EAD), and it provides a rapid, sensitive and specific method of detecting the important pheromone components in a female extract.

Advances in combined high-resolution capillary column GC and mass spectrometry (MS) during the past decade have given us instruments with such high sensitivity that complete mass spectral data can be obtained on a nanogram of pheromone-like compounds. Combined GC-MS has become one of the most important analytical methods available to chemists because it provides more structural information per nanogram of compound than any other technique.

Figure 3. Male turnip cutworm moths responding to an upwind "calling" female.

Figure 3. Réponse du ver-gris mâle du navet à l'«appel» de la femelle.

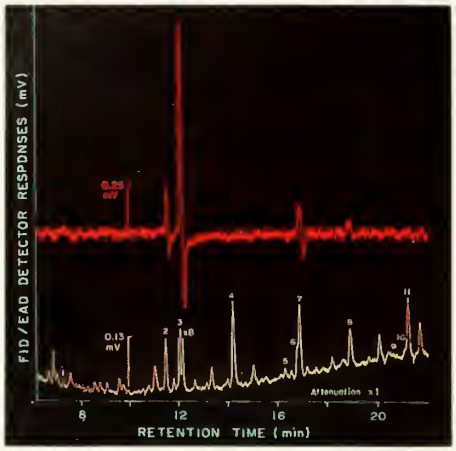


Figure 4. Flame ionization detector (FID) and electroantennographic detector (EAD) responses to an extract from "calling" female moths of Euxoa drewseni. The numbered compounds in the FID responses were identified by their retention times and by mass spectrometry as the following:

(1) decyl acetate
(2) dodecyl acetate
(3) (Z)-5-dodecenyl acetate
(4) (Z)-5-dodecenol
(5) tetradecyl acetate
(6) (Z)-5-tetradecenyl acetate
(7) (Z)-7-tetradecenyl acetate
(8) (Z)-7-tetradecenol
(9) hexadecyl acetate
(10) (Z)-7-hexadecenyl acetate
(11) (Z)-9-hexadecenyl acetate. EAD responses with a male E. drewseni antenna were to components 2, 3, 6, 7 and 8.

Figure 4. Réponse du détecteur à ionisation de flamme et du détecteur électroantennographique à un extrait obtenu d'une femelle Euxoa drewseni manifestant un comportement prénuptial. Les substances numérotées dans le chromatogramme obtenu au moyen du détecteur à ionisation de flamme ont été identifiées grâce à leur temps de rétention et à la spectrométrie de masse:

1. acétate de décycle
2. acétate de dodécycle
3. acétate de (Z)-5-dodécényle
4. (Z)-5-dodécénol
5. acétate de tétradécyle
6. acétate de (Z)-5-tétradécényle
7. acétate de (Z)-7-tétradécényle
8. (Z)-7-tétracénol
9. acétate d'hexadécyle
10. acétate de (Z)-7-hexadécényle
11. acétate de (Z)-9-hexadécényle. Le détecteur électroantennographique composé d'une antenne de E. drewseni mâle a réagi aux substances 2, 3, 6, 7 et 8.

With these developments in analytical techniques it has been possible to identify the major and minor sex pheromone components of many of our crop pests. The recent identification of the components of *Euxoa drewseni*, a species with no common name that is sometimes mistaken for redbacked cutworm, was completed with only 18 female moths. The main pheromone component, (Z)-5-dodecenyl acetate (no. 3, Figure 4) was present at 14 nanograms per female. The other pheromone extract components detected by the male antenna (no. 2, 6, 7 and 8, Figure 4) were not all required for the optimum attraction of males. This was established by testing many combinations of these compounds in the field, where the best attraction resulted from a blend of compounds no. 2, 3, and 7 in a ratio similar to that produced by the females. Compound no. 8 inhibited the attraction and compound no. 6 may be involved with some other aspects of their mating behavior.

Synthetic sex pheromone blends have been developed for 15 of our pest species and these are being used as trap baits for monitoring abundances of moths (Figure 5 and 6). Some blends are being produced commercially in Canada and are available for monitoring. In western Canada, pheromone-baited traps have been used for several years to monitor bertha armyworm moths in canola fields. The numbers of moths captured indicate any likelihood of a subsequent larval infestation, and from the peak of the moth flight it is possible to predict the exact time that an infestation will occur. Farmers can check their canola crops for larvae at the peak of the infestation and, based upon the numbers found on the plants, decide whether to control the larvae with insecticides.

Eventually, we will be able to predict the likelihood of subsequent larval infestations from the numbers of moths captured. However, due to the complexity of weather conditions and crop growth stages that influence the survival and feeding habits of the larvae of most species, considerably more research is required.

Dr. D.L. Struble is a research scientist at the Lethbridge Research Station, Lethbridge, Alberta.

Figure 5. Sex pheromone-baited traps in the field.

Figure 5. Pièges à leurre de phéromone sexuelle dans la nature.

Figure 6. A one-night catch of army cutworm in a sex pheromone-baited monitoring trap.

Figure 6. Légionnaires grises capturées au cours d'une nuit dans un piège à leurre de phéromone utilisé pour le dénombrement des insectes.

permis de détecter et de séparer la plupart des constituants des phéromones à des concentrations de l'ordre du nanogramme dans des extraits de glandes provenant d'insectes femelles. Les colonnes capillaires en verre sont constituées d'un fin tube de verre enroulé sur lui-même qui mesure souvent jusqu'à 100 m de longueur et dont le diamètre intérieur mesure 0,3 mm. L'intérieur du tube de verre est recouvert de liquides spéciaux qui permettent de séparer efficacement le genre de substances qu'on retrouve dans des extraits de phéromones.

Le détecteur utilisé habituellement dans ce genre d'analyse est constitué d'une flamme d'hydrogène et est appelé détecteur à ionisation de flamme. La réponse de ce type de détecteur à un extrait de phéromone relativement bien purifié est illustrée dans la figure 4. Le détecteur à ionisation de flamme n'est pas spécifique; seule une petite partie des substances détectées dans un extrait appartient à la phéromone sexuelle, le reste provient des tissus de la femelle. Pour déterminer quelles substances dans un extrait sont des constituants de la phéromone, nous avons tiré avantage de la sensibilité et de la spécificité des récepteurs olfactifs situés sur les antennes des insectes mâles. Une antenne d'un insecte mâle est reliée à un amplificateur électronique et placée dans le chromatographe de façon à ce qu'un partie de l'effluent de la colonne capillaire entre en contact direct avec elle. Lorsque les récepteurs olfactifs sont excités par un constituant phéromonal, l'influx nerveux qui normalement serait dirigé vers le cerveau de l'insecte est enregistré sur le chromatogramme (Figure 4). Ce dispositif est appelé détecteur électroantennographique; la méthode est rapide, sensible et spécifique et permet de détecter les constituants importants d'une phéromone dans un extrait provenant d'une femelle.

Les progrès réalisés au cours des dix dernières années dans le domaine des chromatographes en phase gazeuse munis de colonnes capillaires à haute résolution et reliés à un spectromètre de masse confèrent à ces instruments une telle sensibilité qu'il est maintenant possible d'obtenir des données spectrales complètes à partir d'un nanogramme d'un constituant phéromonal. La combinaison de la chromatographie en phase gazeuse et de la spectrométrie de masse est devenue l'un des outils les plus utilisés par les chimistes dans leurs méthodes d'analyse car les renseignements d'ordre structural qu'ils obtiennent avec un nanogramme grâce à cette technique sont plus complets que ceux obtenus à l'aide de toute autre technique.

Ces progrès réalisés dans les techniques d'analyse ont permis d'identifier les constituants majeurs et mineurs des phéromones sexuelles de nombreux insectes nuisibles. Récemment, l'identification des constituants de la phéromone sexuelle de *Euxoa drewseni*, une espèce sans appellation vernaculaire qui est parfois confondue avec le vers-gris à dos rouge, a été faite à partir de 18 femelles seulement. Le constituant principal de la phéromone, l'acétate de (Z)-5-dodécényle (nº 3, Figure 4), ne représentait que 14 nanogrammes par femelle. Les autres constituants de l'extrait phéromonal détectés par l'antenne du mâle (nºs 2, 6, 7 et 8, Figure 4) n'étaient pas tous requis pour une attraction optimale des mâles. Cela a été établi en vérifiant le degré d'attraction exercé par plusieurs combinaisons de ces substances dans la nature; le maximum d'attraction des mâles était réalisé par un mélange des substances 2, 3 et 7 dans des propositions semblables à celles de la phéromone produite par la femelle. La substance nº 8 inhibe l'attraction des mâles et la substance nº 6 peut jouer un rôle dans d'autres aspects du comportement prénuptial.

Des préparations synthétiques de phéromones sexuelles, élaborées pour 15 espèces d'insectes nuisibles, ont été utilisées comme leurres pour piéger les insectes et les dénombrer (Figures 5 et 6). Des préparations de phéromones sont produites sur une base commerciale au Canada et peuvent être utilisées pour dénombrer les insectes. Dans l'Ouest, les pièges à base de phéromone sont utilisés depuis plusieurs années pour dénombrer les légionnaires dans les champs de canola. Le nombre d'insectes capturés donne une indication de la probabilité d'une nouvelle infestation, et d'après le moment où l'on obtient le maximum de captures, on peut prédire le moment exact d'une infestation subséquente. Les agriculteurs peuvent compter le nombre de larves qu'ils retrouvent sur les plants de canola au point culminant de l'infestation et juger si l'utilisation des insecticides s'impose.

Nous en viendrons à prédire les infestations larvaires d'après le nombre d'insectes capturés. Toutefois, en raison de la complexité de conditions atmosphériques et des stades de croissance de la plante qui influencent le taux de survie et les habitudes alimentaires des larves de la plupart des espèces, ces prédictions ne seront possibles qu'après des recherches beaucoup plus poussées dans le domaine.

Le docteur D.L. Struble est un chercheur attaché à la Station de recherches de Lethbridge, en Alberta.

Repellents protect cattle from black flies

J.A. Shemanchuk and
W.G. Taylor

One of Canada's last reserves of land suitable for agrieultural produetion lies immediately east of the Rocky Mountains, extending north from Edmonton and ineluding the Peaee River Bloek. In this area, agrieulture will emphasize livestock production because soil and elimate favor produetion of high-quality forage. However, a limiting faetor in the expansion of the livestoek industry into northern areas is the abundanee of streams, rivers, lakes, ponds and bogs that foster the breeding of blaek flies, mosquitoes, horse flies, deer flies and no-see-ums.

Studies eonducted in the Athabasea area in eentral Alberta have demonstrated that blaek flies, particularly *Simulium arcticum,* are a serious pest of eattle. They are usually present and active from early June to mid-September, when the females attaek eattle during the daylight hours, inflieting painful bites, sueking blood and injeeting a toxie saliva through the bite. The saliva causes symptoms similar to anaphylaetie shoek, whieh is usually fatal in newborn ealves and in eattle not previously conditioned to blaek fly bites. Further losses to the produeer oeeur through loss in weight gains because grazing is interrupted, through death of ealves beeause dams with damaged udders do not nurse the ealves, through unbred eows beeause of interrupted breeding, and through suspeeted sterility eaused in bulls.

The usual method of eontrolling blaek flies is to kill the larvae with pestieides in their breeding sites in the rivers or streams. Although effeetive, this is expensive and is eontroversial beeause of environmental eoneerns. In addition, application requires expertise beeause of the toxicity of the chemieals used. Therefore, other eomplementary or alternative methods of proteeting eattle are needed and one such method being researehed is the use of repellents.

Photo 1. Athabasca River, a major breeding source for the black fly Simulium arcticum in central Alberta.

Photo 1. La rivière Athabasca, une des principales aires de reproduction de la mouche noire, Simulium aretieum, *dans le centre de l'Alberta.*

Photo 2. Newborn calf in anaphylactic shock from severe attack by black flies.

Photo 2. Veau nouveau-né en état de choc anaphylactique attribuable aux mouches noires.

Les répulsifs protègent le bétail contre les mouches noires

J.A. Shemanchuk et
W.G. Taylor

Photo 3. Cattle grouped and lying down, a protective behavior during attack by females of the black fly Simulium arcticum.

Photo 3. Animaux couchés en groupe — comportement de protection contre l'attaque des mouches noires femelles, Simulium arcticum.

Photo 4. Application of experimental repellents to a steer.

Photo 4. Application de répulsifs expérimentaux sur un bouvillon.

Une des dernières réserves de terres convenant à la production agricole au Canada se situe immédiatement à l'est des montagnes Rocheuses, s'étendant au nord d'Edmonton et à la région de la Rivière-de-la-Paix. Cette réserve foncière est propice à la production animale, le sol et le climat y favorisant la production de fourrages d'excellente qualité. Cependant, l'expansion de l'industrie animale dans ces régions est limitée par un facteur, soit l'abondance de cours d'eau, de rivières, de lacs, d'étangs et de marais qui facilitent la propagation de mouches noires, de maringouins, de taons et de brûlots.

Des études menées dans la région d'Athabasca, au centre de l'Alberta, ont montré que les mouches noires, particulièrement *Simulium arcticum*, sont une menace grave pour le bétail. Généralement actives du début de juin à la mi-septembre, les mouches noires femelles attaquent le bétail durant les heures de clarté et, en plus de sucer leur sang, leur infligent des morsures douloureuses qu'elles imprègnent d'une salive toxique. La salive des insectes engendre des symptômes semblables à ceux du choc anaphylactique, lequel s'avère généralement mortel pour les veaux nouveau-nés et pour le bétail n'ayant pas déjà été en contact avec les mouches noires. Ces dernières peuvent causer aux éleveurs d'autres pertes telles que le ralentissement des gains de poids dû à l'interruption du pâturage, la mort de nouveau-nés attribuable à la cessation de l'allaitement par des mères dont les pis sont endoloris par les morsures, et la diminution des naissances attribuable à l'interruption de grossesses ou à la stérilité supposée des mâles.

La méthode de lutte habituelle contre les mouches noires consiste à tuer les larves à l'aide d'antiparasitaires, dans leurs aires de reproduction (rivières et cours d'eau). Malgré son efficacité, cette méthode est coûteuse et fait

Table 1. Effective black fly repellency (in days) of synthetic pyrethroids on treated steers

Formulation	Dosage (mg AI*/kg body weight)				
	1	2	4	6	12
Permethrin (ethanolic)	8	8	8	8	11
Permethrin (aqueous)	4	10	—+	11	—
Permethrin (dust)	4	5	8	—	—
Cypermethrin (ethanolic)	3	4	—	—	—
Cypermethrin (aqueous)	5	—	5	—	—
Resmethrin (ethanolic)	1	—	—	2	—

*AI = active ingredient
+ no data

Photo 5. Udder damage from black fly attack which causes dams to resist nursing of calves.

Photo 5. Dommages causés par les mouches noires au pis des vaches, qui poussent ces dernières à refuser d'allaiter leurs veaux.

When applied to the surface of an animal's body, repellents prevent blood-sucking flies from taking a blood meal. Repellents have several desirable characteristics: they are used in small quantities; they are applied only to the cattle that need the protection; they can be applied by the farmer; they reduce the chances of pesticide resistance developing in the black flies; and they are less damaging to the environment because they do not enter the food chain.

Repellents to protect livestock from blood-sucking flies have long been required. In Canada, the need was recognized at the turn of the century when horses and oxen were used as draft animals and cattle were introduced into the prairies. Although various mixtures containing oil of citronella, spirits of camphor, oil of cedar, oil of tar, castor oil, ammonia, laundry soap and pine tar were used, none gave protection for more than a very short time.

In a study at the Agriculture Canada Research Station, Lethbridge, the compound N,N-diethyl-*m*-toluamide (DEET) provided protection from black flies for up to 96 hours, when applied at a rate of 80 mL to the entire body surface of steers weighing about 300 kg. Results from these tests encouraged us to investigate other chemicals, particularly ones with long periods of protection. Synthetic pyrethroids, which have rapid, toxic effects on insects and long persistence with low toxicity to mammals, appeared suitable for the purpose.

The possible effectiveness of three pyrethroids was evaluated under field conditions in central Alberta (Table 1). Permethrin and cypermethrin prevented black flies from feeding on cattle and persisted long enough to be useful under farm conditions. Permethrin in ethanolic solution persisted on the haircoat of steers and prevented black flies from biting for 8-11 days. Dosages higher than 1 mg AI/kg body weight did not increase the effective period enough to warrant their use. A shorter repellency period for the aqueous mixture of permethrin was attributed to the fact that the chemical used in the mixture contained half as much cis-isomer as that used to mix the ethanolic solution. The cis-isomer is the active repellent portion of permethrin. At low dosages, the repellency period of permethrin was shorter in dusts than in aqueous mixtures and ethanolic solutions, probably because the dusts did not adhere well to the haircoat and were lost to the wind and grooming activity of the steers.

Cypermethrin as an aqueous mixture provided satisfactory protection against black flies for at least 5 days. The ethanolic solution was less effective. Resmethrin did not provide enough repellency to be practical for use under farm conditions.

These data indicate that the repellency effect of permethrin and cypermethrin is practical for protecting cattle from black flies under farm conditions even though treatment may be required at 10-day intervals. Permethrin was registered for use in 1981 and is being used by livestock producers in Athabasca County.

At the Lethbridge Research Station, we are continuing the search for repellents that will be effective longer than permethrin and cypermethrin. Also, improved methods for applying repellents to cattle under farm conditions are being investigated. As the technology of black fly control improves, so will the feasibility of expanding the livestock industry to northern areas of Canada.

Mr. Shemanchuk and Dr. Taylor are Research Scientists at the Agriculture Canada Research Station, Lethbridge, Alberta. This study was partially funded by the Farming for the Future Program of Alberta Agriculture.

Tableau 1. Action répulsive à l'égard des mouches noires (en jours), des pyréthroïdes synthétiques appliqués sur des bouvillons.

Formule	Dose (mg IA*/kg de poids)				
	1	2	4	6	12
Perméthrine (en solution dans l'éthanol)	8	8	8	8	11
Perméthrine (en solution dans l'eau)	4	10	a.d.	11	—
Perméthrine (en poudre)	4	5	8	—	—
Cyperméthrine (en solution dans l'éthanol)	3	4	—	—	—
Cyperméthrine (en solution dans l'eau)	5	—	5	—	—
Resméthrine (en solution dans l'éthanol)	1	—	—	2	—

*IA = Ingrédient actif
a.d. Aucune donnée.

Photo 6. Severe damage by black flies to scrotum of bull, believed to be a cause of sterility in some bulls.

Photo 6. Dommages importants au scrotum d'un taureau, causés par les morsures de mouches noires, que l'on croit être à l'origine de la stérilité de certains taureaux.

l'objet de controverse en raison de ses effets sur l'environnement. De plus, l'application d'antiparasitaires requiert une certaine expérience à cause de la toxicité des produits chimiques en cause. Par conséquent, il faut trouver d'autres méthodes complémentaires ou de rechange visant à protéger le bétail contre les mouches noires, et l'emploi de répulsifs ou d'insectifuges entre dans cette catégorie.

Appliqués sur le corps de l'animal, les répulsifs empêchent les mouches suceuses de se nourrir du sang des animaux traités. Leur emploi comporte plusieurs avantages: seules des petites quantités sont nécessaires; l'éleveur ne traite que les animaux risquant les morsures; l'éleveur peut les appliquer lui-même; les répulsifs diminuent les chances de voir les mouches noires développer une résistance aux antiparasitaires; les répulsifs représentent une menace moins grande pour l'environnement parce qu'ils n'entrent pas dans la chaîne alimentaire.

Il y a longtemps que les agriculteurs demandent des répulsifs pour protéger leur bétail contre les mouches suceuses. Au Canada, cette demande s'est manifestée au début du siècle lorsqu'on a commencé à se servir des chevaux et des bœufs comme animaux de trait dans la région des Prairies. Bien que divers mélanges contenant de l'essence de citronnelle, de l'alcoolat camphré, de l'essence de bois de cèdre, de l'huile de goudron, de l'huile de ricin, de l'ammoniac, du savon dur et du goudron de pin aient été utilisés, aucun n'offrait une protection de très longue durée.

Dans des essais menés par les chercheurs de la Station de recherches d'Agriculture Canada, à Lethbridge, le composé m-diéthyltoluamide (DEET) s'est avéré efficace pendant au plus 96 heures lorsqu'il était appliqué à raison de 80 mL sur tout le corps des bouvillons pesant 300 kg environ. Les résultats de ces essais ont incité les chercheurs à examiner d'autres produits chimiques, en particulier ceux qui offrent une protection de longue durée. Les pyréthroïdes synthétiques, qui ont une action toxique rapide et persistante sur les insectes mais qui sont peu toxiques pour les mammifères, semblaient des sujets d'étude appropriés.

L'efficacité potentielle des trois pyréthroïdes a été évaluée sur le terrain, dans le centre de l'Alberta (Tableau 1). La perméthrine et la cyperméthrine ont empêché les mouches noires de se nourrir du sang du bétail, et leur action a duré assez longtemps pour consacrer leur utilité dans le cadre d'une exploitation d'élevage. La perméthrine en solution dans l'éthanol, appliquée sur le pelage des bouvillons, a empêché les mouches noires de piquer les animaux pendant 8 à 11 jours. Des doses de perméthrine supérieures à 1 mg d'ingrédient actif par kilogramme de poids n'ont pas prolongé suffisamment l'action répulsive du produit pour justifier leur utilisation. La période d'efficacité de la perméthrine en solution aqueuse était beaucoup moins longue, et l'on a attribué ce fait à la composition de la solution chimique qui contenait deux fois moins d'isomères cis que la solution utilisée avec l'éthanol. L'isomère cis est l'agent responsable de l'action répulsive de la perméthrine. À des concentrations faibles, l'action répulsive de la perméthrine était beaucoup moins longue sous forme de poudres qu'en solution dans l'eau et dans l'éthanol, probablement parce que les poudres n'adhèrent pas bien au pelage et que le vent ou la toilette que se font les animaux en éliminent une partie.

La cyperméthrine en solution aqueuse a protégé le bétail contre les mouches noires pendant au moins cinq jours; en solution dans l'éthanol, elle s'est avérée moins efficace. La resméthrine n'avait pas une action répulsive suffisante pour justifier son emploi dans le cadre d'une exploitation d'élevage.

Les données obtenues montrent que l'action répulsive de la perméthrine et de la cyperméthrine peut jouer un rôle significatif dans la protection du bétail contre les mouches noires, bien que le traitement doive être renouvelé tous les 10 jours. La perméthrine a été homologuée en 1981 et elle est utilisée par les éleveurs du comté d'Athabasca.

Les spécialistes de la Station de recherches de Lethbridge continuent de chercher des répulsifs ayant une efficacité de plus longue durée que la perméthrine et la cyperméthrine. De plus, ils travaillent également à l'amélioration des méthodes d'application des répulsifs sur les animaux d'élevage. À mesure que les techniques de lutte contre les mouches noires s'améliorent, les possibilités d'expansion de l'industrie de l'élevage dans les régions du nord du Canada augmentent.

MM. Shemanchuk et Taylor travaillent comme chercheurs à la Station de recherches d'Agriculture Canada, à Lethbridge (Alb.). L'étude a été financée en partie par le ministère de l'Agriculture de l'Alberta, dans le cadre de son programme «Farming for the Future».

Crop rotation studies, 1893-1982

R.D. Dryden, L.D. Bailey and C.A. Grant

A well-planned crop rotation is an important consideration in a farming operation. Proper rotations will increase overall productivity by preventing the buildup of insect, weed or disease problems. Limiting the frequency of row crops or summerfallow in the rotation can reduce erosion. Inclusion of legumes may increase the nitrogen levels in the soil. Deep rooted crops and forage stands may have beneficial effects on soil structure.

Crop rotations are important to the agricultural researcher. Rotation studies show the combined effect of a number of factors, including crops, varieties, plant diseases, crop residues, weeds, soil moisture, soil fertility, and tillage and seeding methods. Relative values of different crops and costs of production are also important. Crop rotation studies can provide an average measure of soil productivity and may help to identify constraints and problems requiring more detailed investigation in separate experiments.

The need for a reasonable rotation system was recognized in Manitoba early in the agricultural history of the region. In 1893, S.A. Bedford, superintendent of the Brandon Experimental Farm, stated in his annual report:

At present very few farmers in this country practice a rotation of crops, many following wheat with wheat until the land is so impoverished or made foul with weeds, that less than half a crop is obtained.

As this system, or rather want of system, will have to be changed before many years, some experiments were undertaken this year for the purpose of throwing light on the proper rotation for this country.

Crop rotation studies have continued at the Brandon station since that time. The original 1893 experiment compared yields of Red Fife wheat grown on summerfallow with no spring preparation with Red Fife wheat grown on barley, millet, fodder corn, pea and oat stubble land after spring plowing. Subsequent studies examined short- and long-term rotations, ranging from a simple wheat-fallow system to an 8-year rotation including hay. Crops such as barley, corn, flax, sweet clover, and silage corn were included in the tests to examine alternatives for diversification of production.

In agriculture, as in any other industry, changing times bring solutions to old problems and create new ones. Cropping systems of past years were designed to deal with the constraints of that era. During the early years of settlement, successive grain crops could be grown on the fertile, newly broken land without serious problems. However, weed infestations and decreasing soil fertility soon led to the application of cropping rotations including fallow years. Farmers moved from an initial fallow-wheat-wheat-course grain rotation to a 3-year rotation of fallow-wheat-course grain, which became popular after 1915 as weed problems became more prevalent.

In the 1940s grain farmers began using a 2-year wheat-fallow rotation. This was largely due to the introduction of

Études sur l'assolement, 1893-1982

R.D. Dryden, L.D. Bailey et C.A. Grant

Un assolement bien planifié est essentiel à la bonne marche d'une entreprise de culture du sol. Ce procédé de culture permet d'augmenter la productivité totale en empêchant les problèmes d'insectes, de mauvaises herbes ou de maladies de s'aggraver. En limitant la fréquence des cultures en lignes ou des jachères d'été, on peut réduire l'érosion. En cultivant des légumineuses, on peut augmenter le taux d'azote dans le sol. En outre, à l'aide de plantes à enracinement profond et de plantes fourragères, on peut améliorer la structure du sol.

L'assolement est un sujet important de recherche agricole, car ce procédé de culture met en jeu un grand nombre de facteurs, dont les cultures, les variétés, les maladies des plantes, les résidus de récolte, les mauvaises herbes, l'humidité du sol, la fertilité du sol et les méthodes de travail du sol et d'ensemencement. Il exige également de tenir compte de la valeur relative des différentes cultures et des coûts de production. Des études sur l'assolement peuvent fournir une indication moyenne de la productivité du sol et aider à déterminer les contraintes et les problèmes qui demandent un examen plus approfondi dans des expériences distinctes.

La nécessité de mettre en place un système d'assolement bien planifié avait déjà été reconnue par les spécialistes agricoles de la région. En effet, en 1893, M. S.A. Bedford, surintendant de la ferme expérimentale de Brandon, affirmait ce qui suit, dans le rapport annuel de cet établissement:

«À l'heure actuelle, très peu d'agriculteurs de la région pratiquent l'assolement, la plupart se contentant de faire succéder aux cultures de blé d'autres cultures de blé jusqu'à ce que le sol soit si pauvre ou recouvert de tellement de mauvaises herbes qu'ils obtiennent moins de la moitié d'une récolte.

«Comme il faudra modifier ces méthodes culturales d'ici quelques années, nous avons entrepris cette année certaines expériences visant à déterminer le meilleur assolement à pratiquer dans la région.»

Depuis cette époque, des études sur l'assolement se sont poursuivies à la Station de Brandon. Dans l'expérience menée en 1893, on comparait le rendement du blé Red Fife cultivé sur une jachère d'été n'ayant pas subi de mise en état printanière avec le rendement du blé Red Fife cultivé sur des chaumes d'orge, de millet, de maïs fourrager, de petits pois et d'avoine préparés par des labours printaniers. Des études subséquentes ont porté sur la rotation des cultures à court et à long terme, variant d'un simple système d'assolement blé/jachère à un système d'assolement étalé sur 8 ans et comprenant la production de foin. En outre, dans le but de diversifier la production, on incluait dans les expériences des cultures telles que l'orge, le maïs, le lin, le mélilot blanc et le maïs d'ensilage.

En agriculture, comme dans toute autre industrie, chaque époque apporte avec elle des solutions aux vieux problèmes et en crée de nouveaux. Les systèmes de culture des années passées visaient à éliminer les contraintes de cette époque-

Crop rotation studies go back many years.

Les études sur les rotations des cultures remontent à plusieurs années.

Research plots at Brandon station.

Parcelles expérimentales à la Station de recherches de Brandon.

the thresher-combine, which tended to leave a heavy mulch of straw on the surface and scatter weed seeds. The difficulty in preparing an acceptable seedbed under these conditions led many farmers to turn to a summerfallow year after each crop, to kill weeds and bury the trash. During this period, the Brandon Research Station conducted extensive research on the use of fallow substitutes such as corn, as well as examining rotations which retired the land to grass and legumes at intervals of several years. The Brandon station also assisted farmers who wished to change their cropping system, drawing up field design and crop rotation plans for 600 farmers in the area.

These early rotation experiments led to several important conclusions: wild oats were controlled in rotations that included about 50% sod crops, whereas rotations consisting exclusively of cereal crops and summerfallow invariably became severely infested. Summerfallow gave an immediate increase in crop yields but production declined when it was practiced over a long period without manure or other

là. Au début de la colonisation, les agriculteurs pouvaient, sans problèmes, faire des cultures céréalières successives sur les terres fertiles, nouvellement exploitées. Toutefois, l'infestation par les mauvaises herbes et la diminution de la fertilité du sol ont tôt fait d'inciter les agriculteurs à pratiquer l'assolement, avec jachères. Au début, les agriculteurs faisaient suivre la jachère de deux cultures successives de blé et d'une de céréales secondaires, puis ils adoptèrent un assolement triennal, à alternance d'une année de jachère et de deux années de culture (blé et céréales secondaires). Cette dernière pratique fut très populaire auprès des agriculteurs après 1915 à mesure que les problèmes attribuables aux mauvaises herbes s'intensifièrent.

Dans les années quarante, les céréaliculteurs commencèrent à pratiquer un assolement biennal, à alternance de culture de blé et de jachère. Cette modification de la pratique d'assolement était attribuable, en grande partie, à l'introduction de la moissonneuse-batteuse, qui avait tendance à laisser un mulch épais de paille sur le sol et à disséminer les graines de mauvaises herbes. La difficulté qu'éprouvaient les agriculteurs à préparer un lit de semence acceptable dans ces conditions a incité un grand nombre d'entre eux à laisser leurs terres en jachère, une année sur deux, afin d'éliminer les mauvaises herbes et d'enfouir les résidus végétaux. Pendant ce temps, les chercheurs de la Station de recherches de Brandon faisaient des recherches poussées sur les cultures pouvant remplacer la jachère, comme le maïs, et étudiaient la possibilité d'alterner les cultures habituelles avec des cultures de graminées et de légumineuses, sur une période de plusieurs années. Cette Station a également aidé la collectivité agricole de la région en dressant le plan des champs et le programme d'assolement pour quelque 600 agriculteurs qui désiraient modifier leur régime de cultures.

Ces premières expériences d'assolement ont permis de tirer plusieurs conclusions importantes. Les plans d'assolement qui comprenaient environ 50 p. 100 de cultures de gazon ont réduit la folle avoine, tandis que ceux qui comprenaient exclusivement des cultures céréalières et des jachères d'été ont invariablement donné lieu à des infestations graves. La jachère d'été a occasionné une augmentation immédiate des rendements, mais, à long terme, la production a diminué dans le cas où le sol ne recevait ni fumier ni autre amendement. L'utilisation du mélilot blanc comme engrais vert a eu tendance à diminuer le rendement des récoltes obtenues immédiatement après cet amendement, mais à l'augmenter lorsque cette pratique d'amendement était répétée pendant plusieurs années. L'obtention de rendements plus faibles sur les chaumes semble avoir été attribuable principalement au manque d'azote assimilable dans le sol et à la présence des mauvaises herbes.

Les problèmes de diminution de la fertilité du sol et d'accroissement des infestations de mauvaises herbes ont été corrigés, en grande partie, par l'utilisation intensive d'engrais chimiques et d'herbicides. Un équipement plus gros et plus puissant a facilité le travail d'élimination des résidus de récolte. Ces changements technologiques ont réduit la nécessité d'avoir recours à une jachère cultivée dans les plans d'assolement pour les cultures céréalières dans l'ouest du Manitoba (Tableau 1) et ont en même temps diminué les avantages qu'elle procurait. Lorsque le sol contient assez d'humidité, le rendement économique le plus élevé provient généralement de plans d'assolement qui excluent la jachère d'été cultivée. La culture de légumineuses annuelles peut

amendments. Sweet clover, used as a green-manure crop, tended to decrease the yield of immediately succeeding crops, but increased yields when this practice was continued over a long period. The tendency towards poorer crop yields on stubble land appeared to be due primarily to lack of available soil nitrogen and to weeds.

The problems of reduced soil fertility and increased weed infestations were corrected to a great extent by the introduction and widespread use of chemical fertilizers and herbicides. Larger, more powerful machinery facilitated effective handling of trash. These changes in technology reduced the need for, and advantages of, cultivated summerfallow in grain rotations in western Manitoba (Table 1). When moisture supplies are adequate, the highest economic returns generally come from rotations that exclude cultivated summerfallow. Annual legumes can be beneficial to subsequent crops when used in the rotation as a substitute for summerfallow (Table 2).

Table 1. Yield (kg/ha), protein content and weight per unit volume (kg/hL) of wheat grown after summerfallow and summerfallow substitutes over a 6-year period, 1965-1970, on clay loam (CL) and sandy loam (SL) soils

	Yield of wheat (kg/ha)		Protein content of wheat (%)		Weight/volume of wheat (kg/hL)	
	CL	SL	CL	SL	CL	SL
1st crop wheat after:						
Summerfallow	2 375	1 175	14.2	16.5	75.9	70.8
Sweet clover hay	2 337	1 222	14.3	16.3	75.7	71.0
Oat hay	2 098	1 150	13.4	15.8	76.0	71.0
Corn silage	2 215	1 196	13.8	15.5	76.0	71.7
Flax	1 550	1 053	13.6	15.7	75.1	71.5
Potatoes	2 240	1 218	13.6	16.1	75.8	70.8
2nd crop wheat after:						
Summerfallow	1 625	1 025	13.6	15.6	75.0	71.0
Sweet clover hay	1 472	823	13.4	15.4	74.6	70.4
Oat hay	1 617	1 056	13.2	15.6	75.2	70.9
Corn silage	1 585	1 081	13.3	15.7	74.8	70.8
Flax	1 596	988	13.1	15.4	74.9	70.9
Potatoes	1 552	1 145	13.4	15.3	74.9	71.1

Table 2. The yield and protein content of barley as affected by different crop rotations

Barley grown on	Yield kg/ha	% Protein
1 Summerfallow	3 353	11.5
2A Barley stubble	1 624	9.0
2B Barley stuble + 120 kg/ha of nitrogen	3 220	11.6
3A Fababean stubble	2 156	11.5
3B Fababean stubble + 60 kg/ha of nitrogen	3 330	12.8
4A Soybean stubble	1 890	11.5
4B Soybean stubble + 60 kg/ha of nitrogen	3 087	12.8
5 Clover green manure	4 517	14.7
6 Fababean green manure	4 284	14.4
7 Soybean green manure	4 151	14.2

Data represents six station years (1976-1981)
Barley seeded with 35 kg/ha of P_2O_5

Current rotation studies at the Brandon Research Station examine the problems and opportunities of today's farm community. How effective are various annual legumes in adding nitrogen to the soil? What effects do various herbicides have on subsequent crops in the rotation? How

Tableau 1. Rendement (kg/ha), teneur protéique et poids par volume unitaire (kg/hL) de blé cultivé après la jachère d'été et des substituts à la jachère d'été sur une période de 6 ans, 1965-1970, sur un limon argileux (LA) et un limon sableux (LS)

	Rendement en blé (kg/ha)		Teneur protéique du blé (%)		Poids par volume unitaire de blé (kg/hL)	
	LA	LS	LA	LS	LA	LS
1re réeolte de blé suivant:						
jaehère d'été	2 375	1 175	14,2	16,5	75,9	70,8
foin de mélilot blanc	2 337	1 222	14,3	16,3	75,7	71,0
foin d'avoine	2 098	1 150	13,4	15,8	76,0	71,0
silage de maïs	2 215	1 196	13,8	15,5	76,0	71,7
lin	1 550	1 053	13,6	15,7	75,1	71,5
pommes de terre	2 240	1 218	13,6	16,1	75,8	70,8
2e récolte de blé suivant:						
jachère d'été	1 625	1 025	13,6	15,6	75,0	71,0
foin de mélilot blanc	1 472	823	13,4	15,4	74,6	70,4
foin d'avoine	1 617	1 056	13,2	15,6	75,2	70,9
silage de maïs	1 585	1 081	13,3	15,7	74,8	70,8
lin	1 596	988	13,1	15,4	74,9	70,9
pommes de terre	1 552	1 145	13,4	15,3	74,9	71,1

Tableau 2. Effets des différents plans d'assolement sur le rendement et la teneur protéique de l'orge

Orge cultivée sur:	Rendement kg/ha	Teneur protéique %
1 Jachère d'été	3 353	11,5
2A Chaumes d'orge	1 624	9,0
2B Chaumes d'orge + 120 kg d'azote/ha	3220	11,6
3A Chaumes de féverole	2 156	11,5
3B Chaumes de féverole + 60 kg d'azote/ha	3 330	12,8
4A Chaumes de fèves de soja	1 890	11,5
4B Chaumes de fèves de soja + 60 kg d'azote/ha	3 087	12,8
5 Engrais vert de trèfle	4 517	14,7
6 Engrais vert de féverole	4 284	14,4
7 Engrais vert de fèves de soja	4 151	14,2

Les données représentent six années-station (1976-1981).
L'orge a été ensemeneée avee 35 kg de P_2O_5 par heetare.

être profitable aux cultures subséquentes lorsqu'elle remplace, dans un plan d'assolement, la jachère d'été (Tableau 2).

À l'heure actuelle, les chercheurs de la Station de recherches de Brandon examinent les problèmes et les possibilités de développement de la collectivité agricole moderne. Dans quelle mesure les légumineuses annuelles peuvent-elles ajouter de l'azote au sol? Quels effets les herbicides ont-ils sur les cultures subséquentes dans les plans d'assolement? Quels effets les systèmes de culture sans labours et de culture minimale ont-ils sur la production végétale? Chaque nouvelle technique, chaque nouvelle culture ajoutée à la production locale et chaque nouvelle technique de gestion exigent une réévaluation des plans d'assolement dont l'objet est de découvrir la combinaison qui procurera les avantages maximaux. De cette façon, les chercheurs contribuent à

would zero- and minimum-tillage systems affect crop production? Each new innovation, each new crop introduced into local production, and each new management technique requires re-evaluation of crop rotation systems to discover the combinations where maximum benefits will result. In this way, research ensures the best use of today's technology to optimize productivity of our agricultural resources.

Dr. Bailey and Messrs Dryden and Grant are research scientists at the Agriculture Canada Research Station, Brandon, Manitoba.

trouver le meilleur usage qu'on puisse faire des techniques modernes afin d'optimiser la productivité de nos ressources agricoles.

M. Bailey, M. Dryden et Mme Grant sont chercheurs à la Station de recherches d'Agriculture Canada, à Brandon (Man.)

Can we control denitrification in prairie soils?

W.D. Gould, J.B. Bole, and J.G. Timmermans

Denitrification losses of nitrate-N were found to be minimal in southern Alberta soils despite the presence of nitrogen in the nitrate form and denitrifying bacteria. In controlled laboratory studies, nitrate was lost from a Black Chernozemic soil wetted to twice field capacity moisture levels. Additional carbon in the form of glucose was required for substantial NO_3-N losses to occur from other Chernozemic soils containing lower organic matter concentrations. Denitrification did not occur in soils wetted to only field capacity or in Gray Luvisolic soils. The studies thus identify some of the factors controlling denitrification in prairie soils.

Significant levels if nitrogen (N) can be lost from agricultural soils due to denitrification, the reduction of nitrogen oxides (nitrate, nitrite and nitrous oxide) to nitrogenous gases. Organic matter N can be mineralized to ammonium (NH_4), then nitrified to nitrate (NO_3) and denitrified, thereby depleting the organic N pool in the soil without benefitting agricultural production. It is a process of concern to prairie farmers and agronomists developing fertilizer recommendations because significant amounts of fertilizer nitrogen, especially when applied in the fall for use by a crop the following growing season, may be lost to the atmosphere.

Denitrification losses of fertilizer and soil nitrates have been documented in the more humid regions of the prairies (Malhi, 1978), in Ontario soils (Smid and Beauchamp, 1976) and in many other countries. However, a series of cooperative field experiments in 1978, involving scientists at the Lethbridge Research Station and the University of Alberta, did not document significant differences in barley yields on plots fertilized in the spring or fall with either ammonium nitrate or calcium nitrate sources of N fertilizer (Table 1) (Timmermans 1981). The studies were carried out on rainfed and irrigated Chernozemic soils in the Brown, Dark Brown, and Black soil zones of southern Alberta. Rainfed yield levels were low because of below-average rainfall (April-August Lethbridge rainfall: 137 mm versus long-term mean of 246 mm). Nevertheless, the results suggested that under the prevailing conditions, fall-applied fertilizer-N, even in the nitrate form, was as effective as that applied in the spring. Thus, under the conditions of these tests, implied overwinter denitrification losses of fertilizer NO_3-N were limited.

Peut-on limiter la dénitrification dans les sols des Prairies?

W.D. Gould, J.B. Bole et J.G. Timmermans

Des études ont démontré que les pertes par dénitrification du nitrate d'azote étaient minimes dans le sud de l'Alberta, en dépit de la présence de l'azote sous forme de nitrate et des bactéries dénitrifiantes. Au cours d'essais en laboratoire, on a noté une dénitrification dans un sol chernozémique noir, humidifié au double de sa capacité. L'ajout de carbone sous forme de glucose a donné lieu également à une perte d'azote NO_3 dans d'autres sols chernozémiques renfermant des concentrations moindres de matières organiques. Aucune dénitrification n'a été décelée dans des sols humidifiés à pleine capacité ou dans des sols luvisoliques gris. On a donc découvert un certain nombre de facteurs qui influent sur le phénomène de la dénitrification dans les sols des Prairies.

Les pertes d'azote (N) dans les sols cultivés peuvent être importantes en raison de la dénitrification, soit la réduction biochimique des oxydes d'azote (nitrate, nitrite et protoxyde d'azote) en gas azotés. L'azote organique peut être minéralisé en ammonium (NH_4), puis transformé en nitrate (NO_3), pour finalement être dénitrifié en partie. Ce cycle de l'azote dans le sol diminue le stock organique azoté mis à la disposition des cultures, ce qui a un effet négatif sur la production agricole. La question préoccupe les agriculteurs des Prairies et les agronomes qui tentent de mettre au point des recommandations de fertilisation, car des quantités importantes de fumure azotée, surtout si on l'applique à l'automne pour utilisation la saison suivante, peuvent ainsi se perdre dans l'atmosphère.

Des études ont été faites sur les pertes par dénitrification des nitrates organiques et des nitrates ajoutés par fertilisation, dans les régions plus humides des Prairies (Malhi, 1978), dans les sols de l'Ontario (Smid et Beauchamp, 1976) et dans de nombreux autres pays. Cependant, une série d'expériences coopératives menées sur le terrain, en 1978, par des chercheurs de la Station de recherches de Lethbridge et de l'Université de l'Alberta n'a pas réussi à montrer l'existence d'écarts significatifs entre les rendements en orge de parcelles fertilisées au printemps ou à l'automne avec des engrais azotés à base de nitrate d'ammoniaque ou de nitrate de calcium (Tableau 1) (Timmermans, 1981). Les expériences on été faites sur des sols chernozémiques appartenant aux grands groupes des sols bruns, brun foncé et noirs, dans le sud de l'Alberta. Les rendements des parcelles pluviales ont

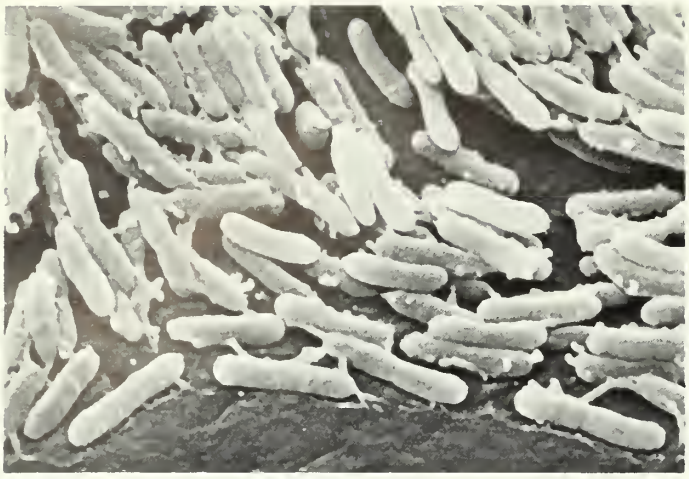


Figure 1. Electron micrograph of Pseudomonas fluorescens, *one of the important denitrifying bacteria in prairie soils.*

Figure 1. Photographie au microscope électronique de Pseudomonas fluorescens, *une des bactéries dénitrifiantes les plus importantes des sols des Prairies.*

Agricluture Canada researchers have reported high concentrations of NO_3-N and NH_4-N accumulating in soils receiving high loadings of waste nitrogen as feedlot manure (180 t/ha per year for 6 years) (Table 2). In these circumstances, denitrification would be considered beneficial in preventing nitrates from being leached to the groundwater or taken up by crops and concentrated at levels potentially harmful to livestock or humans.

A series of studies was conducted to determine the factors influencing the level of denitrification in southern Alberta soils. Research has shown that denitrification occurs when facultative anaerobic bacteria (Figure 1) utilize nitrogen oxides other than oxygen as terminal electron acceptors during anaerobic metabolism. The process requires anaerobic or microaerophilic conditions, a source of energy (organic carbon) and specific kinds of soil bacteria. Environmental conditions such as temperature and moisture also affect the denitrifying activity of the organisms.

Soils receiving the high rates of feedlot manure contained appreciably more denitrifying bacteria in the surface 15 cm of soil than non-manured control plots (Table 3). Population levels did not differ greatly between manured and non-manured soils deeper in the profile despite the high levels of NO_3-N in manured soils (Table 2). The higher denitrifying bacteria population is not necessarily indicative of denitrification since the same organisms are active in the decomposition of the organic matter in the manure. We have been unable to find a correlation between the nitrate concentration and the number of denitrifying bacteria in other soils. Clearly, however, a population of organisms capable of causing loss of the NO_3-N by denitrification was present. The two field studies thus suggested denitrification was limited by some factors but did not identify the constraints. A series of laboratory experiments was initiated.

The denitrification potential of five Alberta soils was measured by adding KNO_3 (100 µg NO_3-N/g soil), incubating the soils at 25°C, then extracting and determining the residual nitrate as well as nitrite concentration at two separate times. Denitrification was not detected in soils wetted to field capacity but extensive denitrification occurred in the Black

été faibles en raison des précipitations inférieures à la moyenne (précipitations enregistrées à Lethbridge d'avril à août: 137 mm par rapport à la moyenne à long terme de 246 mm). Toutefois, les résultats montrent que, dans les conditions existantes, les engrais azotés appliqués à l'automne, sous la forme de nitrates, ont donné d'aussi bons résultats que les engrais appliqués au printemps. Ainsi, les pertes d'azote (NO_3) dues à la dénitrification se produisant durant l'hiver ont été limitées.

Les chercheurs d'Agriculture Canada ont enregistré des taux élevés d'azote NO_3 et d'azote NH_4 s'accumulant dans les sols qui recevaient des quantités importantes d'azote résiduel provenant de fumier de parc d'engraissement (180 t/ha/an pendant 6 ans) (Tableau 2). Dans ces circonstances, la dénitrification était considérée comme favorable, car elle empêchait les nitrates d'être lessivés vers les eaux souterraines ou exportés par les cultures à des concentrations potentiellement nocives pour le bétail ou pour l'homme.

Nous avons donc mené une série d'études afin de déterminer les facteurs qui influent sur l'importance de la dénitrification survenant dans les sols du sud de l'Alberta. Le phénomène se produit lorsque des bactéries anaérobies facultatives (Figure 1) utilisent des oxydes d'azote autres que l'oxygène comme accepteurs finals d'électrons au cours du métabolisme anaérobie. Des conditions anérobies ou microaérophiliques, une source d'énergie (carbone organique) et des espèces particulières de bactéries du sol sont les éléments essentiels de ce processus de transformation. Les conditions environnementales comme la température et l'humidité influent également sur l'importance de la dénitrification effectuée par les organismes.

Les sols recevant des quantités importantes de fumier de parc d'engraissement contenaient beaucoup plus de bactéries dénitrifiantes dans les 15 premiers centimètres du sol que les parcelles témoins n'ayant reçu aucune fumure (Tableau 3). Les niveaux de population de bactéries dans les couches inférieures étaient pratiquement les mêmes dans les sols fumés et les sols non fumés, malgré des taux élevés d'azote NO_3 dans les premiers (Tableau 2). Un niveau plus élevé de population de bactéries dénitrifiantes n'est pas nécessairement le signe d'une dénitrification étant donné que ce sont les mêmes organismes qui s'activent à décomposer la matière organique du fumier. Nous n'avons pas pu établir une corrélation entre la concentration de nitrate et le nombre de bactéries dénitrifiantes dans les autres sols. Toutefois, il était évident que les sols contenaient une population d'organismes capables de causer des pertes d'azote NO_3 par dénitrification. Les deux études sur le terrain ont donc permis de conclure que la dénitrification était limitée par certains facteurs, mais non pas de déterminer ces contraintes. Nous avons donc mené une série d'expériences en laboratoire.

Nous avons mesuré le potentiel de dénitrification de cinq sols de l'Alberta en leur ajoutant du KNO_3 à raison de 100 µg de NO_3 par gramme de sol, en incubant les sols à 25 °C, puis en établissant, à deux moments différents, les concentrations de nitrate résiduel et de nitrite. Aucune dénitrification n'a été décelée dans les sols humidifiés à pleine capacité; par contre, nous avons noté une dénitrification importante dans le sol chernozémique noir, humidifié au double de sa capacité (Tableau 4). Nous avons également constaté une légère perte de nitrate dans le sol brun foncé. Des taux faibles de nitrite ont été enregistrés dans les quatre

Tableau 1. Rendements on orge (t/ha) de parcelles fertilisées à raison de 80 kg d'azote par hectare au printemps ou à l'automne précédent

Matière fertilisante	Zone de sol					
	Brun		Brun foncé		Noir	
	Automne	Printemps	Automne	Printemps	Automne	Printemps
	Parcelles pluviales					
$Ca(NO_3)_2$	1,17	1,37	0,83	8,84	1,85	1,66
NH_4NO_3	1,02	1,35	0,93	0,84	1,77	1,86
Témoin	0,91		0,64		1,39	
	Parcelles irriguées					
$Ca(NO_3)_2$	6,65	6,41	5,31	5,17	2,22	2,89
NH_4NO_3	6,30	6,26	5,50	5,34	2,90	2,80
Témoin	5,59		5,02		1,02	

Table 1. Yield of barley (t/ha) fertilized at the rate of 80 kg N/ha in the spring or previous fall

Fertilizer source	Soil Zone					
	Brown		Dark Brown		Black	
	Fall	Spring	Fall	Spring	Fall	Spring
	Rainfed sites					
$Ca(NO_3)_2$	1.17	1.37	0.83	8.84	1.85	1.66
NH_4NO_3	1.02	1.35	0.93	0.84	1.77	1.86
Control	0.91		0.64		1.39	
	Irrigated sites					
$Ca(NO_3)_2$	6.65	6.41	5.31	5.17	2.22	2.89
NH_4NO_3	6.30	6.26	5.50	5.34	2.90	2.80
Control	5.59		5.02		1.02	

Table 2. Effect of 6 years of feedlot manure application (180 t/har per year) on the soil nitrate (NO_3^--N) and ammonium (NH_4^+-N) concentrations

Depth (cm)	NO_3^--N (ppm)				NH^4+-N (ppm)			
	May 1979	Nov 1979	May 1980	Sep 1980	May 1979	Nov 1979	May 1980	Sep 1980
With manure								
0-15	444	372	420	279	40.8	36.3	15.7	3.3
30-60	86	116	88	94	1.2	65.3	2.1	2.8
90-120	201	169	131	75	0.7	0	2.0	2.7
Without manure								
0-15	17.6	17.7	17.3	3.6	8.5	0	2.9	3.1
30-60	4.1	3.4	4.1	0.7	3.2	0	2.4	3.7
90-120	4.7	15.5	11.0	3.9	2.3	0	1.8	3.8

Table 3. Effect of feedlot manure (180 t/ha per year) on the populations of denitrifying bacteria in the soil

Depth (cm)	Denitrifying bacteria ($\times 10^3$/g soil)			
	May 1979	Nov 1979	May 1980	Sep 1980
With manure				
0-15	520 000	37 000	15 000	17 000
30-60	910	1 600	480	770
90-120	140	710	110	46
Without manure				
0-15	2 900	3 500	1 500	2 100
30-60	200	300	160	760
90-120	70	66	110	59

Chernozemic soil when wetted to twice field capacity (Table 4). A slight loss of nitrate was also measured in the Dark Brown soil. Low levels of nitrite were detected in the other four soils which indicated a microbial potential for denitrification. The results confirm the potential for rapid losses of large amounts of nitrate derived from fertilizers or organic matter. When the laboratory results in the Black

Tableau 2. Effets des applications de fumier de parc d'engraissement (180 t/ha/an), années de suite, sur les taux de nitrate (NO_3^-) et d'ammonium (NH_4^+) dans le sol

Profondeur (cm)	Azote NO_3^--N (ppm)				Azote NH_4^+-N (ppm)			
	Mai 1979	Nov. 1979	Mai. 1980	Sept. 1980	Mai 1979	Nov. 1979	Mai 1980	Sept. 1980
Parcelles fertilisées								
0-15	444	372	420	279	40,8	36,3	15,7	3,3
30-60	86	116	88	94	1,2	65,3	2,1	2,8
90-120	201	169	131	75	0,7	0	2,0	2,7
Parcelles non fertilisées								
0-15	17,6	17,7	17,3	3,6	8,5	0	2,9	3,1
30-60	4,1	3,4	4,1	0,7	3,2	0	2,4	3,7
90-120	4,7	15,5	11,0	3,9	2,3	0	1,8	3,8

Tableau 3. Effets des applications de fumier de parc d'engraissement (180 t/ha/an) sur les populations de bactéries dénitrifiantes du sol

Profondeur (cm)	Bactéries dénitrifiantes ($\times 10^3$/grammes de sol)			
	Mai 1979	Nov. 1979	Mai 1980	Sept. 1980
Parcelles fertilisées				
0-15	520 000	37 000	15 000	17 000
30-60	910	1 600	480	770
90-120	140	710	110	46
Parcelles non fertilisées				
0-15	2 900	3 500	1 500	2 100
30-60	200	300	160	760
90-120	70	66	110	59

autres sols, ce qui permet de croire à la possibilité d'une dénitrification microbienne. Les résultats confirment la possibilité de pertes rapides de grandes quantités de nitrate provenant des engrais ou de la matière organique. Lorsque l'on fait des projections applicables aux premiers 30 centimètres du sol à partir des résultats obtenus en laboratoire pour le sol noir, on peut conclure à une perte, sur une période de 24 heures, de 400 kg d'azote par hectare, ce qui représente une valeur courante de 200 $ l'hectare.

La principale différence entre le sol chernozémique noir et les autres sols est sa teneur plus élevée en carbone organique, ce qui nous permet de croire qu'il contient peut-être aussi plus de carbone sous une forme facilement utilisable par les bactéries comme source d'énergie. L'ajout de glucose aux sols chernozémiques et solonetziques solodisés, bruns et brun foncé, a fait augmenter les taux de dénitrification. Un apport de 900 µg de carbone sous forme de glucose par gramme de sol a donné lieu à une perte totale d'azote NO_3 en 96 heures (Tableau 5). Par ailleurs, le taux d'azote

Table 4. Effect of moisture level and time of incubation on the denitrification of five soils

Soil	Initial nitrate ($\mu g\ NO_3^-$-N/g soil)	Remaining nitrate ($\mu g\ NO_3^-$-N/g soil)			
		Field capacity*		2 × field capacity	
		24 h	96 h	24 h	96 h
Black Chernozem	107	122	164	0	0
Dark Brown Chernozem	162	162	173	129	138
Brown Chernozem	110	107	105	113	109
Solodized Solonetz	159	153	157	158	168
Gray Luvisol	127	123	134	123	131

* Soil water content determined at a moisture tension of 0.033 MPa (0.33 bars)

Tableau 4. Effets du taux d'humidité et de la période d'incubation sur la dénitrification de cinq sols

Sol	Nitrate initial ($\mu g\ NO_3^-$/gramme de sol)	Nitrate résiduel ($\mu g\ NO_3^-$/gramme de sol)			
		Capacité de parcelle*		Double de la capacité de la parcelle	
		24 h	96 h	24 h	96 h
Chernozémique noir	107	122	164	0	0
Chernozémique brun foncé	162	162	173	129	138
Chernozémique brun	110	107	105	113	109
Solonetzique solodisé	159	153	157	158	168
Luvisolique gris	127	123	134	123	131

* La teneur en humidité du sol est déterminée à une tension d'humidité de 0,033 MPa (0,33 bars).

Table 5. Effect of a carbon source on denitrification in soils at a moisture level of twice field capacity

Glucose Carbon (μg/g soil)	Remaining nitrate ($\mu g\ NO_3^-$-N/g soil)											
	Gray Luvisol			Brown Chernozem			Dark Brown Chern.			Solodized Solonetz		
	0 h	24 h	96 h	0 h	24 h	96 h	0 h	24 h	96 h	0 h	24 h	96 h
0	110	114	117	110	108	109	128	122	120	141	145	142
300	110	107	101	110	89	71	128	79	74	141	108	102
600	110	105	100	110	74	12	128	65	6	141	85	67
900	110	104	102	110	54	0	128	47	0	141	59	0

Tableau 5. Effets d'une source de carbone sur la dénitrification des sols ayant une teneur en humidité établie au double de leur capacité.

Glucose Carbone (μg/gramme de sol)	Nitrate résiduel ($\mu g\ NO_3^-$/gramme de sol)											
	Luvisolique gris			Chernozémique brun			Chernozémique brun foncé			Solonetzique solodisé		
	0 h	24 h	96 h	0 h	24 h	96 h	0 h	24 h	96 h	0 h	24 h	96 h
0	110	114	117	110	108	109	128	122	120	141	145	142
300	110	107	101	110	89	71	128	79	74	141	108	102
600	110	105	100	110	74	12	128	65	6	141	85	67
900	110	104	102	110	54	0	128	47	0	141	59	0

soils are projected to the surface 30 cm of a field soil, the 24-hour loss represents more than 400 kg N/ha having a present market value of more than $200/ha.

The most obvious difference between the Black Chernozemic soil and the others is its higher organic carbon content, suggesting that it may also contain more carbon in a form that the bacteria can readily utilize as an energy source. Addition of glucose to the Brown and Dark Brown Chernozems and Solodized Solonetz soil resulted in increased rates of denitrification. Complete loss of NO_3-N in 96 hours was noted when the soil was supplemented with 900 μg glucose-C/g soil (Table 5). However, the Gray Luvisol maintained its added NO_3-N at a constant level, indicated that (in that soil) some other factor, in addition to the energy source, was limiting denitrification. However, the results indicated that generally it is the lack of a readily available source of carbon that is responsible for the limited denitrification rate of southern Alberta Chernozemic soils.

N_3 est demeuré constant dans le sol luvisolique gris, indiquant qu'il y a d'autres facteurs dans ce sol, en plus de la nature de la source d'énergie, qui limite la dénitrification. Cependant, de façon générale, les résultats montrent que le faible taux de dénitrification observé dans les sols chernozémiques du sud de l'Alberta est attribuable au fait qu'il n'y a pas de source de carbone facilement accessible.

Les conditions d'inondation du sol nécessaires à la dénitrification ont lieu plus souvent au printemps lorsque les températures du sol sont nettement inférieures aux températures considérées comme optimales, soit de 20 °C à 40 °C, pour la réalisation du phénomène. Bien que nous ayons noté que la nitrification, soit la transformation de l'azote du sol en nitrate, se produisait à des températures du sol variant entre 1 °C et 4 °C, nous avons constaté que la dénitrification était beaucoup plus sensible à la température. Il reste à établir les effets combinés de la température, de la source d'énergie et de l'humidité du sol sur la vitesse de la dénitrification. Main-

The flooded soil conditions necessary for denitrification occur more frequently in the spring, when soil temperatures are well below the 20-40°C considered optimum for the reaction, than at other times of the year. Although we have found nitrification of soil-N to the nitrate form to occur at soil temperatures of 1-4°C, denitrification was much more sensitive to temperature. The interactive effects of temperature, energy source, and soil moisture status on the rate of the denitrification process must still be quantified. Now that some of the critical factors controlling denitrification in Chernozemic soils have been identified in the laboratory, we are in a better position to design field trials to develop management practices that will either minimize or exploit denitrification for the benefit of agriculture.

References

Malhi, S.S. 1978. *Overwinter losses of mineral nitrogen.* Ph.D. thesis, Univ. of Alt., Edmonton.

Smid, A.E. and Beauchamp, E.G. 1976. *Effects of temperature and organic matter on denitrification in soil.* Can. J. Soil Sci. 56: 385-391.

Timmermans, J.G. 1981. *Fall versus spring application of nitrogen fertilizers on dryland and irrigated soils of southern Alberta.* M.Sc. thesis, Univ. of Alta., Edmonton.

Dr. Bole is a research scientist at the Lethbridge Research Station, Dr. Gould, a soil microbiologist, is now employed by Allied Chemical Co. of Syracuse, N.Y., and Mr. Timmermans is a soils specialist with Alberta Agriculture at Airdrie, Alberta.

tenant que nous avons décelé en laboratoire certains des facteurs importants qui influent sur la dénitrification des sols chernozémiques, nous sommes mieux armés pour concevoir les essais sur le terrain qui nous permettront de mettre au point des pratiques de gestion agricole pouvant tirer profit de la dénitrification.

Bibliographie

Malhi, S.S., *Overwinter losses of mineral nitrogen*, thèse de doctorat, Edmonton, Université de l'Alberta, 1978.

Smid, A.E., et E.G. Beauchamp. «Effects of temperature and organic matter on denitrification in soil», dans *Can. J. Soil Sci.*, vol. 56, 1976, p. 385-391.

Timmermans, J.G. *Fall versus spring application of nitrogen fertilizers on dryland and irrigated soils of southern Alberta*, thèse de maîtrise en sciences, Edmonton, Université de l'Alberta, 1981.

M. Bole travaille comme chercheur à la Station de recherches de Lethbridge. M. Gould, microbiologiste du sol, travaille maintenant pour le compte de l'*Allied Chemical Co.*, à Syracuse, New York. M. Timmermans travaille comme spécialiste des sols au ministère de l'Agriculture de l'Alberta, à Airdrie.

Monitoring the carrot weevil in Ontario

A.B. Stevenson

Unnecessary spraying for the carrot weevil can be avoided by monitoring roots from previous carrot crops to detect when and at what rate oviposition takes place. The author describes an easy method of monitoring to determine the need for spraying.

The carrot weevil has become an increasingly important pest of carrots in Ontario's Holland Marsh in recent years (Figure 1). As the insecticides normally used to control the carrot rust fly are inadequate to control the weevil, this means one or two more chemical applications each year added to an already heavy pesticide load in the marsh. The carrot weevil is not uniformly distributed in the area, and its impact on the crop is influenced by cropping history and the field's surroundings. Therefore, it is unlikely that every grower needs to apply insecticide for weevil control every year. Monitoring the insect to decide if treatment is needed would help avoid unnecessary spraying.

Unfortunately, weevils cannot be detected by the sticky traps used to monitor the carrot rust fly and other insect pests in the marsh. However, studies at the Vineland Research Station have shown that the weevil can be monitored

Détection du charançon de la carotte en Ontario

A.B. Stevenson

On peut éviter des pulvérisations inutiles dans la lutte contre le charançon de la carotte en surveillant les racines de carottes de la récolte précédente dans le but de déterminer le moment et la fréquence de la ponte. L'auteur décrit une méthode simple pour déterminer quant il y a lieu de pulvériser.

Le charançon de la carotte est devenue, depuis quelques années, un ravageur de plus en plus important dans la région ontarienne du marais de Holland (Figure 1). Comme les insecticides servant généralement à lutter contre la mouche de la carotte sont inefficaces contre le charançon, les agriculteurs doivent ajouter annuellement à leur programme de traitement chimique, déjà très chargé, une ou deux applications d'autres insecticides. Le charançon de la carotte n'est pas répandu de façon uniforme dans la région, et son impact sur les récoltes dépend du régime de culture utilisé et de l'état des bordures extérieures des champs. Par conséquent, il est peu probable que tous les agriculteurs doivent appliquer, chaque année, des insecticides pour lutter contre ce ravageur. Il serait utile qu'ils disposent d'un plan de détection leur permettant de décider de la nécessité d'un traitement et d'éviter des pulvérisations inutiles.

Figure 1. Carrot weevil damage on mature carrot root

Figure 1. Dommages causés par le charançon de la carotte aux racines de carottes mûres.

Figure 2. Carrot root sections placed in soil between carrot rows to monitor carrot weevil oviposition

Figure 2 Sections de carotte placées entre les rangées de culture, en vue de déterminer le moment de la ponte.

Figure 3. Carrot weevil egg cavities in carrot root sections

Figure 3. Trous de ponte creusés par le charançon femelle dans les sections de carotte.

successfully using carrot roots from the previous year's crop to detect when and where oviposition takes place. Also, this method can be used before the new crop has emerged, giving the grower advance warning.

The key to the method lies in the biology and behavior of adult carrot weevils. There is one generation per year in the Holland Marsh. The adults mature in late summer and in the autumn, and over winter in and around the carrot field in which they developed. In early to mid-May, depending upon temperature, the adults become active and females are soon

Figure 4 Close up of egg cavities

Figure 4 Trous de ponte en gros plan.

Malheureusement, on ne peut détecter le charançon de la carotte à l'aide des pièges collants utilisés pour la mouche de la carotte et d'autres insectes ravageurs du marais. Cependant, des études entreprises à la Station de recherches de Vineland ont montré qu'on peut lutter efficacement contre le charançon en se servant de racines de carotte de la récolte précédente pour déterminer le moment et l'endroit de la ponte. Comme cette méthode peut être utilisée avant l'émergence de la nouvelle récolte, le producteur est renseigné à l'avance.

La connaissance de la biologie et du comportement du charançon de la carotte est essentielle. Une seule génération se développe par année dans le marais de Holland, et les adultes qui arrivent à maturité à la fin de l'été et à l'automne passent l'hiver dans le champ de carottes où ils se sont développés ou autour de celui-ci. Au début de mai, selon la température, les adultes deviennent actifs et les femelles sont bientôt prêtes à pondre des œufs. Généralement, à cette époque, il n'y a pas de carottes de la nouvelle récolte, ou seulement quelques-unes, sur lesquelles les femelles peuvent pondre (l'espèce n'attaque les plantules de carotte qu'après la formation de la première vraie feuille). Cependant, les femelles pondent volontiers des œufs dans des carottes ou des panais adventices ou dans des racines de carotte mûre que l'on dépose à leur intention dans le champ. Elles font, dans la carotte, de petits trous qu'elles garnissent d'œufs et recouvrent souvent d'exsudat. Ainsi, la présence de petites cavités ou de trous de ponte sur les racines est le signe d'une infestation par le charançon. On peut généralement faire cette constatation assez longtemps avant que la nouvelle récolte ne devienne vulnérable aux attaques du ravageur.

Nous avons observé que les charançons pondaient également des œufs dans des coupes de carotte mûre de 50 à 75 mm de longueur; la quantité de carottes nécessaires pour la détection et le temps requis pour l'examen des carottes infestées sont alors réduits en conséquence. Lorsque les coupes de carotte étaient partiellement enfouies dans le sol (Figure 2), les femelles pondaient généralement leurs œufs sur la partie émergeant du sol; il était donc facile de compter les trous de ponte à l'aide d'une loupe éclairante (Figures 3 et 4).

ready to lay eggs. Normally, at this time, there are few if any new-crop carrots available for oviposition (carrot seedlings are not attacked until after the first true leaf has formed). The females will, however, lay eggs in volunteer carrots or parnsips, or in mature carrot roots placed in the field. They deposit their eggs in small cavities, often covered with exudate, that they make in the surface of the carrot root. Thus, the cavities or spots of exudate on the roots indicate the presence of weevils in the field, usually well before the new crop is susceptible.

We found that female weevils would also lay eggs in 50-75 mm sections cut from mature carrot roots. Thus we could reduce the number of carrots needed and the time required for examination. When the sections were partially buried in the soil (Photo 3, Figure 2), the egg cavities were usually found just above soil level and could be counted readily using an illuminated magnifier (Figures 3 and 4).

To test the method in practice, we monitored 11 commercial carrot fields in the Holland Marsh in 1981. Most of the sites selected had some recent history of infestation. We also needed to determine if the recommended control program (two applications, 10 to 14 days apart, of phosmet, 1 kg a.i./ha, beginning after the first true leaf stage) was effective on a commercial scale. Groups of four carrot root sections were placed at five sites in a transect — about 5 to 10 m into the crop across one or both ends of the field. The sections were changed every 3 to 4 days and examined so the progress of the weevil infestation could be observed. Egg laying occurred throughout the approximately 6-week monitoring period, with a peak occurring during the last week of May or first week of June.

The method provided three parameters to consider in making decisions: the number of root sections attacked in any 3 to 4 day period, the number of cavities/root section/day (C/R/D), and the distribution of the infestation across the field. There were no guidelines available on what level of attack on the root sections would require control measures, i.e. we had no action threshold. Hence, the decision making was of necessity arbitrary and subjective, and was based on an overview of the three parameters described above.

The carrot weevil was detected at all monitored sites. Spraying was recommended at nine of the locations at which a peak of 55 to 100% of the root sections were attacked and the peak C/R/D ranged from 0.9 to 6.0. Wherever the phosmet sprays were applied as recommended, carrot weevil damage at harvest did not exceed 1.5%. One farm, where no spray was applied, despite heavy weevil activity, suffered approximately 12% damage. Sprays were not recommended at two sites at which the average C/R/D did not exceed 0.5, and damage at these locations was not more than 2.5%.

The results of this study indicated that this monitoring method can be used successfully to determine if spraying is required to control the carrot weevil. Since the peak activity generally occurs within a period of 2 to 3 weeks near the end of May, it would probably be sufficient to confine the monitoring to that interval. Determination of a threshold, probably to be based on peak activity observed in a given site, is desirable. The method is simple enough that growers could probably operate their own simplified version if no public monitoring program was available.

Dr. Stevenson is a research scientist at Agriculture Canada's Vineland Research Station.

Afin de vérifier l'efficacité de cette méthode, nous avons mené des observations, en 1981, dans 11 champs de carotte à vocation commerciale, dans le marais de Holland. La plupart des producteurs se plaignaient d'infestations récentes. Nous devions également déterminer l'efficacité, à l'échelle commerciale, du programme de répression recommandé, soit deux applications de 1 kg de phosmet par hectare, à des intervalles de 10 à 14 jours. Nous avons placé, parallèlement à une des extrémités du champ, ou aux deux, cinq tas de quatre sections de carotte, à 5 ou 10 mètres environ de la bordure. Nous avons remplacé les morceaux de carotte à tous les 3 ou 4 jours et les avons examinés afin de surveiller le déroulement de l'infestation. La ponte des œufs s'est poursuivie pendant les 6 semaines environ qu'a duré le programme de détection, s'intensifiant durant la dernière semaine de mai ou la première semaine de juin.

Cette méthode de détection comprenait l'analyse de trois paramètres, soit le nombre de sections de carotte attaquées par les insectes au cours d'une période de 3 à 4 jours, le nombre de trous de ponte par section de carotte et par jour (T/S/J), et la répartition de l'infestation dans le champ. Nous ne disposions d'aucun jalon nous indiquant quel degré d'intensité d'attaque sur les sections de carotte nécessitait l'application de méthodes de répression. En d'autres mots, nous ne savions pas à partir de quel seuil il fallait conseiller à l'agriculteur de prendre des mesures de lutte. Par conséquent, nos décisions étaient nécessairement arbitraires et subjectives et se fondaient sur un examen des trois paramètres énumérés ci-dessus.

La présence du charançon de la carotte a été décelée dans tous les champs soumis à une surveillance. Nous avons recommandé des pulvérisations à neuf endroits où de 55 à 100 p. 100 des sections de carotte avaient été attaquées et où le T/S/J variait entre 0,9 et 6,0. Dans tous les cas où le phosmet a été pulvérisé selon les recommandations, les dommages causés par le ravageur n'excédaient pas 1,5 p. 100, au moment de la récolte. Une ferme où aucune pulvérisation n'a été appliquée, malgré une forte infestation par les charançons, a subi environ 12 p. 100 de dommages. Nous avons déconseillé les pulvérisations pour deux champs où le T/S/J moyen ne dépassait as 0,5, et les dommages enregistrés n'ont pas excédé plus de 2,5 p. 100.

Les résultats de ces expériences montrent qu'on peut utiliser avec succès cette méthode de détection pour décider de la nécessité des pulvérisations dans la lutte contre le charançon de la carotte. Étant donné que la période d'activité la plus intense de cet insecte se situe vers la fin de mai, pendant 2 à 3 semaines, il suffirait probablement de restreindre la phase de détection à ces semaines. Il serait souhaitable, en outre, d'établir un seuil au-delà duquel les mesures de répression sont souhaitables et qui pourrait probablement être fondé sur l'activité maximale observée dans un champ donné. La méthode de détection envisagée est suffisamment simple pour que les producteurs puissent mettre au point leur propre version simplifiée dans le cas où aucun programme public de détection ne serait mis en place.

M. Stevenson est un chercheur de la Station de recherches d'Agriculture Canada, à Vineland.

Compaction and settling of soils

C.R. De Kimpe

Mechanical properties of various soils under compaction or settling conditions demonstrated the importance of the water retention properties of the organic matter and, to a lesser extent, of the clay fraction.

The physical condition of fields is a matter of interest to farmers during spring work and the fall harvest. It is of particular concern in the clayey soils of the St. Lawrence lowlands, where a high water table often close to the surface at these times, and poor permeability exacerbate the problems. A number of crops, such as seed corn and sugar beets, can make use of the late growing season; however, the harvest is sometimes lost because it is not accessible. Drainage, whether surface or underground, can improve this situation. For underground drainage to be effective, the soil must have a porosity and structure conducive to water movement. At the Agriculture Canada Research Station in Sainte-Foy, our interest in this problem required a better definition of soil structure and testing of different methods to preserve or improve the existing structure.

We conducted various tests on samples from the surface horizon of cultivated soils, as this layer is most affected by field work. The soils selected were distinguished by their texture, ranging from loamy sand to clay, and by their organic matter content, varying between 1.6 and 11.9%. The stresses applied, while not exactly reproducing natural disturbances, nevertheless let us observe certain reactions.

The first test was a compaction experiment, adapted from the PROCTOR method. This is used by engineers to determine the greatest density a substance can attain, in terms of the force applied and moisture content of the sample. In this test, we sought the maximum deformation of the material so that its porous volume could be reduced by packing the fine particles into the interstices formed between the coarser grains. This was achieved by kneading the sample. A similar phenomenon occurs in the field when animals graze or farm machinery travels on waterlogged soil. The force of the load is not just transmitted in a direction vertical to the wheel, but also laterally; this is how ruts are formed. Under these conditions, whether natural or experimental, the porous network is greatly limited. Not only is it reduced, but the continuity of the pores disappears — a more detrimental effect. The soil's ability to transport water and the saturated hydraulic conductivity are greatly lowered.

In the laboratory compaction tests, the maximum density for all samples varied from 1.73 to 1.05 g/cm^3. Figure 1 gives the curves obtained (A_1, B_1 and C_1) for three soils whose main properties are indicated in Table 1, below.

The decrease in maximum bulk density after compaction is associated with an increase in organic matter. This can be explained in two ways:

— When the organic matter content increases, the real density of the solid decreases. In fact, it drops from 2.598 g/cm^3 for soil containing 1.6% organic matter to 2.175 g/cm^3 for soil with 11.9% organic matter. However, the reduction in the real density cannot alone account for the decrease in the bulk density resulting from compaction.
— In the kneading process during compaction, the water acts as a lubricant. It reduces friction, allows better

Compactage et tassement des sols

C.R. De Kimpe

Les propriétés mécaniques de divers sols sous des contraintes de compactage ou de tassement ont montré la grande importance des propriétés de rétention d'eau par la matière organique et dans une moindre mesure par l'argile.

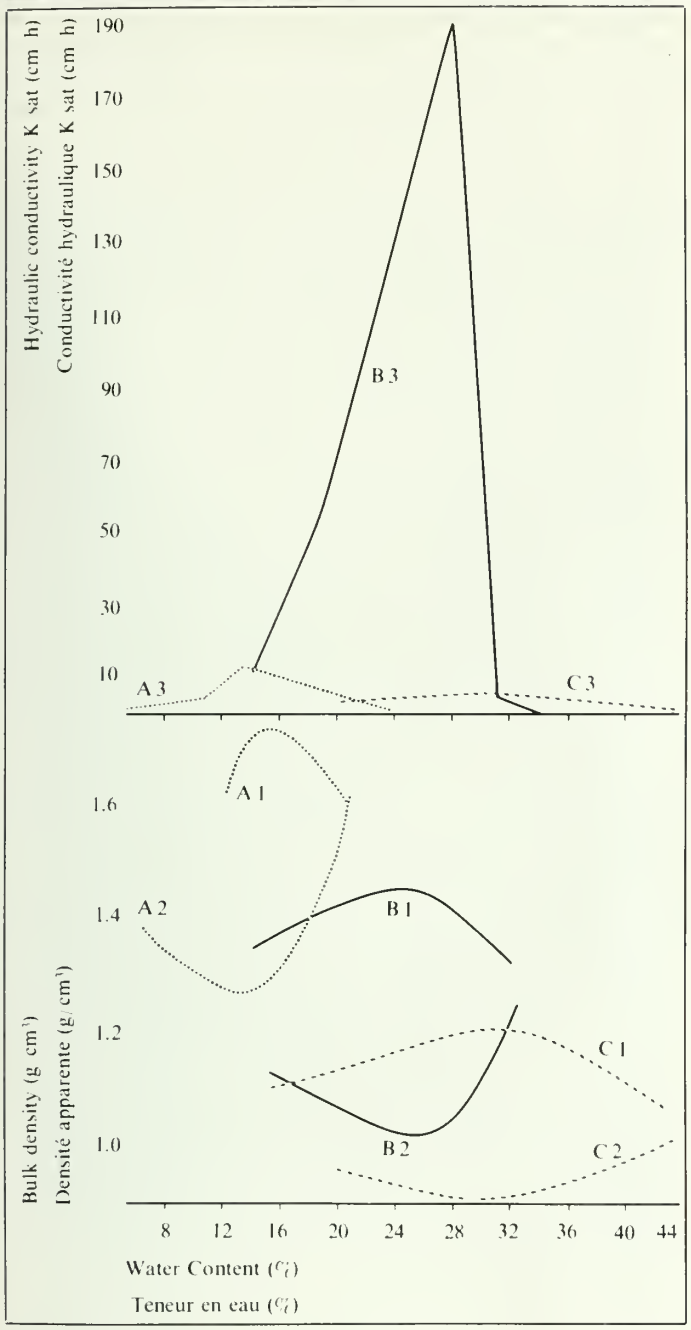
L'état physique des champs est un facteur qui retient l'attention des agriculteurs au moment des travaux de printemps ou lors de la récolte en automne. Il revêt un caractère d'une acuité particulière pour les sols argileux des basses-terres du Saint-Laurent à ces moments-là où la nappe phréatique est élevée et souvent proche de la surface, et la perméabilité faible. Plusieurs cultures, comme le maïs-grain et la betterave à sucre, peuvent profiter de l'arrière-saison de végétation, mais il arrive parfois que la récolte soit perdue parce qu'elle est inaccessible. Le drainage, en surface ou souterrain, peut améliorer cette situation. Cependant, pour que le drainage souterrain soit efficace, il importe que le sol ait une porosité et une structure favorables à la circulation de l'eau. À la Station de recherches d'Agriculture Canada à Sainte-Foy, nous nous intéressons à ce problème en cherchant à mieux définir la structure des sols et en essayant diverses méthodes pour préserver ou améliorer la structure existante.

Nous avons procédé à divers essais sur des échantillons provenant de l'horizon de surface de sols cultivés. C'est cette couche en effet qui est la plus affectée par les opérations de champ. Les sols choisis se distinguent par leur texture qui va du sable loameux à l'argile et par leur contenu en matière organique, qui varie de 1,6 à 11,9 p. 100. Les contraintes appliquées, même si elles ne reproduisent pas exactement les perturbations du milieu naturel, permettent cependant de rendre compte de certains comportements.

Le premier test est un essai de compactage, adapté de la méthode PROCTOR. Il est utilisé en génie pour déterminer la densité maximum que l'on peut atteindre pour un matériel, en fonction de la force appliquée et de l'humidité de l'échantillon. Dans cet essai, on recherche le maximum de déformabilité du matériau afin de réduire le volume poreux en entassant les particules fines dans les interstices ménagés entre les grains plus grossiers. On réalise cet objectif par un pétrissage de l'échantillon. Un phénomène semblable se produit au champ lors du pacage des animaux ou du passage de la machinerie agricole dans un sol détrempé. L'effet de la charge n'est pas transmis seulement à la verticale de la roue, mais aussi latéralement et c'est ainsi que se creusent les ornières. Dans ces conditions, naturelles ou expérimentales, le système poreux est soumis à de fortes contraintes. Non seulement est-il réduit mais, ce qui est plus dommageable, la continuité des pores disparaît. Le pouvoir de transmission de l'eau par le sol et la conductivité hydraulique saturée sont fortement diminués.

Lors des essais de compactage au laboratoire, la densité maximum pour tous les échantillons a varié de 1,73 à 1,05 g/cm^3. La Figure 1 présente les courbes (A_1, B_1 et C_1) obtenues pour trois sols dont les caractéristiques principales sont consignées dans le Tableau 1 ci-dessous:

La décroissance de la densité apparente maximum au compactage est associée à une teneur croissante en matière organique. Ceci peut s'expliquer de deux manières:



— Pour un contenu croissant en matière organique, la densité réelle du solide décroît. Elle passe en effet de 2,598 g/cm³ pour le sol qui contient 1,6 p. 100 de matière organique à 2,175 g/cm³ pour le sol qui en contient 11,9 p. 100. Cependant, la diminution de la densité réelle ne peut rendre compte à elle seule de la baisse de la densité apparente sous l'effet du compactage;

— Lors du pétrissage pendant la compaction, l'eau agit comme lubrifiant. Elle réduit le frottement, permet une meilleure répartition des grains et assure une augmentation de la densité apparente. La quantité optimale d'eau nécessaire augmente avec la teneur en matière organique et dans une moindre mesure avec la teneur en argile. C'est ce qu'indique la position relative des courbes A_1, B_1 et C_1. Mais en même temps, une plus grande quantité d'eau dans l'échantillon fait décroître la densité apparente.

La conductivité hydraulique saturée a ensuite été mesurée sur des éprouvettes de 2,5 cm d'épaisseur prélevées dans les blocs compacts. Pour tous les sols, la valeur de K_{sat} est inférieure à 1 cm/h, indépendamment de la densité apparente. Ceci confirme le manque de continuité du système poreux et explique les difficultés de drainage interne dans les sols perturbés.

Le second test que nous avons appliqué est un essai de tassement. Dans ce cas, le sol n'est plus soumis à une force extérieure pour accroître la densité apparente. La réorganisation des particules se fait sous l'effet de la gravité. Ce processus se produit à divers moments dans les champs. Après un labour d'automne par exemple, le gel fait éclater les mottes et les agrégats se réorganisent peu à peu. La pluie battant sur un sol nu contribue aussi à réduire la dimension des agrégats et ceux-ci se réarrangent ensuite pour donner un sol plus tassé. Dans les essais de laboratoire, un résultat plus rapide et mieux contrôlé est souhaitable. Il peut être acquis par vibration ou bien, comme nous l'avons effectué, avec un volumètre à coups. Les échantillons, conditionnés en présence de quantités variables d'eau, sont soumis à un nombre constant de coups. Nous avons ensuite mesuré la densité apparente puis la conductivité hydraulique saturée. Contrairement à ce qu'on observe lors du compactage, la courbe de densité passe cette fois par un minimum (Figure 1, courbes A_2, B_2 et C_2). La forme de la courbe s'explique par le fait que dans l'essai de tassement, on mesure la résistance du sol à la déformation. Quand la teneur en eau est faible,

Table 1

Soil series	Organic matter (%)	Sand (%)	Clay fraction (%)	Max bulk density after compaction (g/cm³)	Max K_{sat} after settling (cm/h)
Sainte-Rosalie (A)	1.9	48	22	1.73	12.5
Hébertville (B)	4.1	11	41	1.45	192.0
Saint-Damase (C)	6.7	60	18	1.21	5.0

Tableau 1

Série de sol	Matière organique (%)	Sable (%)	Argile (%)	Densité app. max. en compaction (g/cm³)	K_{sat} max. en tassement (cm/h)
Sainte-Rosalie (A)	1,9	48	22	1,73	12,5
Hébertville (B)	4,1	11	41	1,45	192,0
Saint-Damase (C)	6,7	60	18	1,21	5,0

distribution of the grains and causes an increase in the bulk density. The optimum water quantity required increases with the organic matter content and to a lesser extent with the clay content. This is indicated by the relative positions of curves A_1, B_1 and C_1. At the same time, however, more water in the sample causes the bulk density to drop.

The saturated hydraulic conductivity was then measured on test samples 2.5 cm thick taken from the compacted blocks. For all soils, the K_{sat} value was less than 1 cm/h, regardless of the bulk density. This confirms that continuity of the porous network is lacking and explains the internal drainage problems in disturbed soils.

Our second test experimented with settling. This time the soil was not subjected to an outside force to increase the bulk density. Instead, gravity caused the reorganization of the particles to take place, a process that occurs at various times in the fields. After fall plowing, for example, frost breaks up the clods and the aggregates are gradually reorganized. Rain hitting bare soil also contributes to reducing the size of aggregates, which are then rearranged into a more consolidated soil. A more rapid and better-controlled result is desirable in laboratory tests; this can be obtained by vibration or, as in our test, by tapping a volumeter.

The samples, under the influence of varying quantities of water, were given a fixed number of taps. We then measured the bulk density and the saturated hydraulic conductivity. Unlike that found after compaction, the density curve this time had a minimum value (curves A_2, B_2 and C_2 in Figure 1). The form of the curve is explained by the fact that the settling experiment measured the resistance of the soil to deformation. When the water content is low, the particles are separated and are apt to adjust their relative positions to increase the bulk density. When the water content is high, the material becomes fluid and can also settle well. On the other hand, a water content intermediate between these two extremes allows formation of stable aggregates. These can resist deformation and provide a large porous volume. The bulk density is therefore lower. The optimum water content, corresponding to the minimum bulk density, is close to the value which gave the maximum bulk density after compaction, and this fact clearly points out the importance of organic matter and clay for the mechanical properties of soil.

Unlike kneading, vibration or settling as a result of tapping does not eliminate the continuity of the porous network. In fact, for each soil considered separately the bulk density is inversely proportional to the hydraulic conductivity (curves A_3, B_3, C_3 and A_2, B_2 and C_2 in Figure 1). On the other hand, there are major differences between soils.

These differences are not due to differences in texture, since the Hébertville soil, with the finest texture and an organic matter content intermediate between that of the other two (Table 1), has a higher conductivity than the others (curves A_3, B_3 and C_3 in Figure 1).

Of course, it would be ideal if we could determine by a simple measurement what time was best to start spring work. Our results so far on the mechanical properties of the lowlands soils suggests that this cannot be achieved using a single measurement of soil moisture. The interactions between the soil, organic matter and water are complex, and the variations in soils too great to allow a simple answer.

Dr. De Kempe is a research scientist at Agriculture Canada Research Station, Ste-Foy, Quebec.

les particules sont individualisées et susceptibles de se réajuster entre elles pour augmenter la densité apparente. Quand le contenu en eau est élevé, le matériel devient fluide et il peut également bien se tasser. Par contre, pour une teneur en eau intermédiaire entre ces deux extrêmes, il y a formation d'agrégats stables. Ils peuvent résister à la déformation et ménager un volume poreux important. La densité apparente est donc plus basse. La teneur optimale en eau correspondant à la densité apparente minimum est voisine de celle qui avait donné la densité apparente maximum au compactage et ce fait souligne bien l'importance de la matière organique et de l'argile pour les propriétés mécaniques du sol.

Contrairement au pétrissage, la vibration ou le tassement par coups ne suppriment pas la continuité du système poreux. En effet, il existe, pour chaque sol considéré individuellement, une relation inverse entre densité apparente et conductivité hydraulique (Figure 1, courbes A_3, B_3, C_3 et A_2, B_2, C_2). Par contre, il y a de fortes différences d'un sol à l'autre.

Celles-ci ne sont pas dues aux différences de texture puisque le sol Hébertville, ayant la texture la plus fine et un contenu en matière organique intermédiaire entre celui des deux autres sols (Tableau 1), a une conductivité supérieure à celle des autres sols (Figure 1, courbes A_3, B_3 et C_3). Il est donc important de caractériser la structure des sols. Dans ce cas particulier, cependant, il faut concevoir la structure de façon différente, soit sous l'aspect d'un réseau de vides délimité par le matériel solide. Cette approche ne peut se réaliser que si le volume poreux n'est pas modifié lors du séchage de l'échantillon. C'est pourquoi nous entreprenons des études du volume poreux et de la distribution des pores en appliquant la technique du séchage au point critique.

Il serait certes souhaitable de pouvoir déterminer par une mesure simple le moment idéal pour entreprendre les travaux de printemps. Les résultats acquis jusqu'à présent sur les propriétés mécaniques des sols des basses terres suggèrent qu'on ne pourra atteindre cet objectif par une seule mesure de l'humidité du sol. Les interactions sol—matière organique—eau sont complexes et la variabilité des sols est trop grande pour pouvoir simplifier énormément la réponse.

M. C.R. De Kimpe est attaché à la Station de recherches d'Agriculture Canada, à Sainte-Foy, au Québec.

Leafcutter bees revive alfalfa seed production

K.W. Richards

The development of the loose-cell system of management for the alfalfa leafcutter bee, by scientists at Agriculture Canada's Lethbridge Research Station, has resulted in increased alfalfa seed production. Seed supplies are the highest in 30 years and are approaching the total Canadian market requirement. A surplus of quality bees and the potential for increased seed markets in eastern Canada and other countries should provide stability to Canadian production.

The potential of the alfalfa leafcutter bee as an efficient and effective pollinator was first officially recognized in 1961 by the late G.A. Hobbs of the Lethbridge Research Station. Although bumblebees and native leafcutter bees will also pollinate alfalfa, their fluctuating populations make them unreliable for use in the alfalfa seed-production industry. Since 1961, improved management of the "domesticated" leafcutter bee has resulted in a steady expansion of the alfalfa seed and leafcutter bee industries in Canada.

Alfalfa seed production in western Canada has been highly variable over the past 40 years, ranging from a high of 9.7 million kilograms in 1948 to a low of 450 thousand kilograms in 1969. During the 1940s, southern Alberta was the main seed production area, but this shifted during the 1950s to the Parkland area of the prairie region. Eventually, production in both areas greatly decreased because increased irrigation, cultivation, land clearing, or pesticide use destroyed the nesting sites of native pollinators. By 1950, Canada was importing alfalfa seed to meet domestic needs rather than exporting excess production.

However, this situation is now reversing. In 1981, 715 000 kilograms of seed were exported from western Canada; this was the largest amount in 20 years. Increases in growing area of 40 to 60% in the past few years reflect the rapid growth of the industry. In 1976, 2270 ha were in pedigree seed production and by 1982, this had increased to 13011 ha.

In 1982, Alberta had about 50% of the total seed production area in the country, followed by Saskatchewan (28%), Manitoba (15%), and eastern Canada and British Columbia (7%).

Expansion of the industry can be attributed to the good demand for seed of hardy and adapted Canadian-bred cultivars, low production costs (aside from the initial capital costs for bees and beekeeping equipment) and moderate economic returns for both bees and seed in comparison with competitive cash crops. During the last few years, seed growers in southern Alberta have averaged annual yields of 340 kg/ha of seed and have almost doubled the yearly production of bees. Experienced managers sometimes produce yields of up to 850 kg/ha. Without leafcutter bees, only 50 kg/ha of seed would be produced.

Other advantages of this industry that account for its expansion include a crop that can fix atmospheric nitrogen and thus reduce fertilizer costs, stay in production for 8 years, grow on marginal land, and fit well into rotation with other crops grown in western Canada. The crop adapts well to dryland and minimally irrigated land. Seed growers expe-

Les découpeuses relancent la production de semences de luzerne

K.W. Richards

La méthode d'élevage en cellule libre des découpeuses de la luzerne, mise au point par les chercheurs de la Station de recherches d'Agriculture Canada, à Lethbridge (Alb.), a permis d'augmenter la production de semences de luzerne. La production de semences a atteint son niveau le plus élevé depuis trente ans et elle est presque équivalente aux besoins totaux du marché canadien. Un excédent d'abeilles de qualité et les possibilités de débouchés sur les marchés de l'Est canadien et d'autres pays devraient permettre de stabiliser la production canadienne.

Le potentiel de la découpeuse de la luzerne en tant qu'agent pollinisateur a été reconnu officiellement en 1961 par feu G. A. Hobbs de la Station de recherches de Lethbridge. Bien que les bourdons et les découpeuses indigènes pollinisent également la luzerne, les variations enregistrées dans leurs populations ne permettent pas aux producteurs de semences de luzerne d'en faire une utilisation fiable. Depuis 1961, l'amélioration de la gestion de la découpeuse «domestiquée» a permis une expansion stable des industries des semences de luzerne et des découpeuses au Canada.

La production de semences de luzerne, dans l'ouest du Canada, a été très instable au cours des 40 dernières années, passant d'un plafond de 9,7 millions de kilogrammes en 1948 à un plancher de 450 000 kg en 1969. Au cours des années quarante, le sud de l'Alberta était la principale région de production, mais il perdit ce titre durant les années cinquante au profit de la région de forêt-parc des Prairies. Par la suite, la production a beaucoup diminué dans les deux régions, l'accroissement des travaux d'irrigation, de culture du sol et de défrichage et de l'utilisation des antiparasitaires ayant détruit les aires de nidification des pollinisateurs indigènes. Dès 1950, le Canada importait des semences de luzerne afin de satisfaire ses besoins intérieurs plutôt que d'exporter une production excédentaire.

Cette situation est cependant en voie de changer. En 1981, les producteurs de l'Ouest canadien ont exporté 715 000 kg de semences de luzerne, soit la quantité la plus importante au cours des 20 dernières années. L'augmentation de 40 à 60 p. 100 des superficies cultivées, ces dernières années, traduit la croissance rapide de l'industrie. En 1976, 2270 hectares produisaient des semences pédigrées et, en 1982, ce chiffre atteignait 13 011 hectares.

En 1982, 50 p. 100 des superficies canadiennes totales consacrées à la production de semences de luzerne étaient en Alberta; 28 p. 100, en Saskatchewan; 15 p. 100, au Manitoba, et 7 p. 100, dans l'est du Canada et en Colombie-Britannique.

On peut attribuer l'expansion de l'industrie à la demande soutenue de semences provenant de cultivars canadiens rustiques, aux faibles coûts de production (compte non tenu de la mise de fonds initiale nécessaire à l'achat des abeilles et de l'équipement d'apiculteur) et aux rendements économiques modérés procurés à la fois par les abeilles et les semences par rapport aux cultures commerciales concurrentielles. Au cours des dernières années, les producteurs de semences du

Photo 1. Seed production of Trek alfalfa

Photo 1. Production de semences de luzerne Trek.

Photo 2. Shelter containing hives for alfalfa leafcutter bees

Photo 2. Abri contenant des ruches pour les découpeuses de luzerne.

Photo 3. Stripping and tumbling bee cells prior to overwinter storage

Photo 3. Dépouillement et culbutage des cellules avant la mise en hivernage.

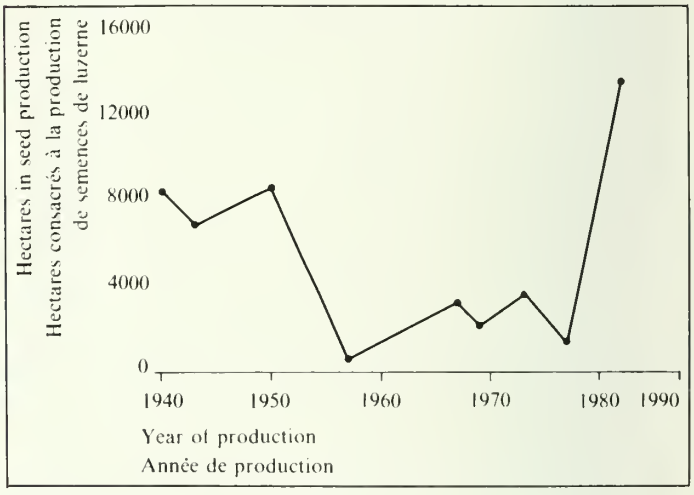


Figure 1. Canadian land in alfalfa seed production (1940-1982)

Figure 1. Superficies consacrées à la production de semences de luzerne, au Canada (1940-1982).

sud de l'Alberta ont obtenu des rendements annuels moyens de 340 kg par hectare et ont presque doublé leur production annuelle d'abeilles. Des producteurs d'expérience arrivent parfois à obtenir des rendements de 850 kg par hectare. Sans le travail des découpeuses, le producteur n'obtiendrait que 50 kg par hectare.

Parmi les autres raisons qui expliquent l'expansion enregistrée par cette industrie, il y a le fait que la luzerne peut fixer l'azote de l'air (ce qui réduit les coûts des engrais), demeurer productive pendant 8 ans, pousser sur des terres marginales et s'insérer convenablement dans les plans d'assolement utilisés dans l'ouest du Canada. En outre, la luzerne s'adapte bien aux sols arides et peu irrigués. Enfin, les producteurs de semences n'ont past de difficulté à respecter les exigences d'isolement des cultures liées à l'obtention d'un certificat de semences pédigrées, étant donné l'abondance des superficies de culture.

Un nombre important d'abeilles étant nécessaire à la pollinisation des cultures de luzerne, on a mis au point la méthode d'élevage en cellule libre des découpeuses. Grâce à

rience few problems in meeting isolation requirements for pedigree status as seeding area is plentiful.

Large numbers of bees are needed to pollinate the crop. For this reason, the loose-cell system of leafcutter bee management was developed. This system places the optimum number of bees onto the crop at the appropriate time to obtain a high seed set and an adequate return of viable bees for the following year.

The loose-cell system was also developed to control the potential buildup of populations of insects that are natural parasites of the bees and those that feed on stored products. Control of these insects is achieved through different management procedures, including the use of laminated, grooved nesting materials, controlled incubation, and removal and tumbling of cells from the hives. By the efficient use of cold storage and incubation facilities, bee emergence can be synchronized with the beginning of flower bloom.

The system lets beekeepers take samples of cells from their current production to obtain an accurate estimate of the number of intact cocoons, female bees, and parasites. These estimates provide a means for beekeepers to improve their own beekeeping practices and provide quality quidelines when the bees become items of commerce.

Samples submitted by beekeepers from across western Canada since 1970 indicate a gradual increase in the quality of bees produced. The number of live bees per kilogram increased from 7200 in 1970 to 8300 in 1981. Incubation tests show that about 33% of the incubated cocoons consistently contained females, and that mortality of prepupae during incubation or due to chalcid parasites was consistently low. These productivity indicators show that beekeepers are incorporating new and recommended procedures into their operations.

The loose-cell system has made Canadian beekeepers the world's leading suppliers of quality leafcutter bees. In the past few years, 125 million surplus bees have been exported annually, mainly to the United States but also to Argentina, the USSR and European countries.

Problems in marketing the seed crop may hinder the continued expansion of the Canadian industry. Because the potential for an oversupply of seed of specific cultivars exists, growers must be prudent when selecting a cultivar for long-term marketability. There are over 50 alfalfa cultivars currently licensed in Canada, but only half are being grown for seed. At present, seed growers are producing more than enough seed to meet the needs of western Canada and are now expanding into the eastern Canadian market.

Most cultivars recommended in western Canada were developed by Agriculture Canada breeders whereas those recommended in eastern Canada are produced by American seed companies. If seed growers hope to supply the eastern Canadian market, they will have to produce seed of cultivars currently recommended for that region. Western seed growers, who infrequently grow eastern cultivars, will have to acquire them, probably under contract to seed companies. Obtaining foundation seed of these cultivars in sufficient quantities is a problem because of American marketing policies.

Although these restrictions exist for the expansion of the domestic market, there is a potential for increased exports, particularly to the United States. With the slight decrease in alfalfa seed-growing area in the United States and growers' problems with pollinator management, competing cash crops, pest control and verticillium wilt, some American

cette méthode, un nombre optimal d'abeilles pollinisent les cultures au moment approprié, ce qui permet aux producteurs d'obtenir une quantité élevée de semences par plant et un nombre a suffisant d'abeilles viables pour l'année suivante.

La méthode d'élevage en cellule libre vise également à régler l'accroissement des populations d'insectes qui sont des parasites naturels des abeilles et des insectes qui se nourrissent de produits entreposés. À cette fin, on utilise différentes techniques de gestion, comme des matériaux laminés et rainurés, l'incubation surveillée et l'enlèvement et le culbutage des cellules de la ruche. Grâce à des installations d'entreposage à froid et d'incubation, on peut faire coïncider l'émergence des abeilles avec le début de la floraison.

La méthode d'élevage en cellule libre permet à l'apiculteur de prendre des échantillons de cellules de la production en cours et de faire une estimation juste du nombre de cocons intacts, d'abeilles femelles et de parasites. Muni de ces données, l'apiculteur peut améliorer ses pratiques de gestion et établir des critères de qualité pour les abeilles destinées à la vente.

Les échantillons soumis par les apiculteurs de l'ouest du Canada depuis 1970 témoignent d'un accroissement graduel de la qualité des abeilles produites. Le nombre d'abeilles vivantes par kilogramme est passé de 7200, en 1970, à 8300, en 1981. Les essais d'incubation montrent qu'environ 33 p. 100 des cocons mis à incuber contenaient régulièrement des femelles et que le taux de mortalité des prépupes en cours d'incubation ou attribuable à l'infestation parasitaire par les chalcis était faible, sans exception. Ces indicateurs de productivité prouvent que les apiculteurs ont modifié leur gestion en fonction des nouvelles pratiques recommandées.

Les apiculteurs canadiens sont devenus les principaux fournisseurs du monde en découpeuses de qualité grâce à la méthode d'élevage en cellule libre. Au cours des dernières années, 125 millions d'abeilles excédentaires ont été exportées annuellement, surtout vers les États-Unis mais aussi vers l'Argentine, l'URSS et les pays européens.

Il se peut que les problèmes associés à la commercialisation des semences de luzerne entravent l'expansion continue de l'industrie canadienne. Étant donné qu'il peut y avoir sur le marché de trop grandes quantités de semences de cultivars particuliers, les producteurs doivent choisir avec soin le cultivar en fonction de ses possibilités de commercialisation à long terme. Cinquante cultivars de luzerne sont présentement homologués au Canada, mais seulement la moitié d'entre eux sont cultivés pour les semences. À l'heure actuelle, les producteurs de semences répondent de façon plus que satisfaisante aux besoins de l'Ouest canadien et cherchent maintenant à trouver des débouchés sur le marché de l'Est.

La plupart des cultivars en usage dans l'Ouest ont été développés par les sélectionneurs d'Agriculture Canada tandis que ceux qui sont utilisés dans l'Est ont été mis au point par des grainetiers américains. Si les producteurs de semences de l'Ouest veulent conquérir les marchés de l'Est, ils devront produire des semences de cultivars recommandés pour cette région. Comme ils cultivent rarement ces cultivars, ils devront s'en procurer par contrat auprès des grainetiers américains. Toutefois, les politiques américaines de commercialisation rendent difficile l'obtention, en quantités suffisantes, de semences Fondation des cultivars recommandés.

seed companies are now evaluating new seed-producing areas such as western Canada.

Our seed growers have established a proven track record for quality seed and bee production at competitive prices. The recent increases in area of alfalfa, due to good leafcutter bee management, demonstrate that Canadian seed producers can meet expanded market demands.

K.W. Richards is a Research Scientist at Agriculture Canada's Lethbridge Research Station.

Malgré ces contraintes imposées à l'expansion de l'industrie sur le marché intérieur, il existe des possibilités de développement du côté des exportations, surtout vers les États-Unis. Étant donné la légère diminution des superficies ensemencées en luzerne aux États-Unis et les problèmes qu'ont les producteurs en rapport avec la gestion des agents pollinisateurs, la concurrence livrée par les cultures commerciales, la désinsectisation et la verticilliose, certains grainetiers américains évaluent à l'heure actuelle de nouvelles régions de production de semences de luzerne, comme l'Ouest canadien.

Les producteurs canadiens de semences ont acquis la réputation de produire des semences et des abeilles de qualité à des prix concurrentiels. Les récentes augmentations de superficies ensemencées en luzerne, attribuables à une bonne gestion des découpeuses, prouvent que les producteurs canadiens de semences peuvent satisfaire les besoins accrus du marché.

M. K.W. Richards travaille comme chercheur à la Station de recherches d'Agriculture Canada, à Lethbridge.

Rangelands recover slowly when vegetation is destroyed

A. McLean and S. Wikeem

Information on the number of years rest necessary for rangeland recovery after depletion by grazing is valuable in assessing the relative merits of resting versus seeding for range improvement, and is important for planning grazing rotations and related management practices.

For the southern drybelt region of interior British Columbia, it is estimated that it takes 20 to 50 years, or more, for rangeland vegetation to recover to its original state after ill-timed grazing or overgrazing.

Since the 1930s, small areas of typically depleted rangeland have been periodically fenced to exclude livestock. Records are maintained by Agriculture Canada Research Station, Kamloops, and British Columbia Ministry of Forests. Since fencing, the vegetation has been monitored to record the rate of return of the important grazing species. Seventeen sites are under observation.

Study sites extend from the East Kootenays to the Chilcotin rangeland, with most in the Thompson-Nicola region. Exclosures were established in both the rough fescue and bluebunch wheatgrass zones between 400 and 1200 m elevation. The fescue sites were mostly on Black Chernozemic soils and the wheatgrass sites on Brown and Dark Brown Chernozems.

Length of time required for recovery of vegetation is related to the soils, climate, available soil moisture, seed source, species present and history of disturbance. It is as much a function of the number of residual desirable plants in the stand at the time of fencing as the length of time elapsed.

Régénération lente des parcours après la destruction de la végétation

A. McLean et S. Wikeem

Toute information sur le nombre d'années de repos qu'il faut aux parcours épuisés par le pâturage pour se régénérer est précieuse dans l'évaluation des avantages respectifs de cette méthode et de l'ensemencement pour l'amélioration des parcours; elle est primordiale de plus pour la planification des rotations de pâturage et les pratiques phytotechniques qui s'y rattachent.

On estime qu'il faut de 20 à 50 ans, sinon davantage, pour que la végétation des parcours de la région aride du sud de l'intérieur de la Colombie-Britannique revienne à son état original après un pâturage inopportun ou un surpâturage.

Depuis les années trente, on clôture périodiquement de petites zones typiquement épuisées afin de garder le bétail à l'écart. La Station fédérale de recherches agricoles de Kamloops et le ministère des Forêts de la Colombie-Britannique enregistrent actuellement le taux de retour des principales espèces à pâturage dans 17 sites. Ces derniers sont surtout concentrés dans la région de Thompson-Nicola, mais s'étendent des Kootenays Est au parcours Chilcotin. Ils comprennent des peuplements de fétuque scabre et d'agropyre à épi situés entre 400 et 1200 m d'altitude poussant respectivement surtout sur des sols chernozémiques noirs et chernozémiques bruns et brun foncé.

Le temps que la végétation prend à se rétablir dans ces endroits est réglé par les conditions pédologiques et climatiques, la teneur en eau du sol disponible, la source des

Photo 1. Rangeland in the big sagebrush zone: Left above, excellent range condition, dominated by bluebunch wheatgrass; Right above, poor range condition, dominated by big sagebrush and cheatgrass.

Photo 1. Parcours dans une zone d'armoise tridentée: À gauche, excellent parcours, dominé par l'agropyre à épi; À droite, parcours en mauvais état, dominé par l'armoise tridentée et le brome des toits.

Photo 2. Rangeland in the ponderosa pine zone: Left above, excellent range condition, dominated by bluebunch wheatgrass and rough fescue; Right above, poor range condition, dominated by needle-and-thread and Junegrass.

Photo 2. Parcours dans une zone de pins pondérosa : À gauche, excellent parcours dominé par l'agropyre à épi et la fétuque scabre; À droite, parcours en mauvais état, dominé par la stipe chevelue et le koelaria accrêté.

Often a range appears to be badly depleted of desirable plant species and forage productivity, but, in fact, still contains many small remnants of these species that increase in size and vigor with protection. On most sites, relatively little change in plant composition of the major forage species has taken place inside the exclosures in less than 10 years after fencing. The main changes were usually an increase in size and vigor of the few desirable plants that had been depleted, a great reduction in the population of annuals, such as cheatgrass and microsteris, and of the weedy perennial species, such as low pussy toes, cutleaved fleabane and the unproductive sandberg's bluegrass. Usually, within about 20 years, either rough fescue or bluebunch wheatgrass came to be the most abundant species on the sites. These grasses then continued to force out the less competitive species and completely dominated the sites in about 30 years. Some of the perennial species that may be depleted or forced out are rabbitbrush, fringed or pasture sage, dandelion and rockcress. Big sage, a dominant on the lower elevation sites, decreased in abundance but still remained conspicuous.

semences, les espèces présentes et l'utilisation antérieure du parcours. Elle dépend autant du nombre de plantes désirables qui subsistent au moment où l'endroit est clôturé que du laps de temps écoulé depuis lors. Souvent, un parcours qui semble très pauvre en espèces désirables et dont la production fourragère est réduite peut contenir un très petit nombre de plantes qui grandiront et deviendront vigoureuses si on les protège. Dans la plupart des endroits clôturés depuis moins de 10 ans, on note relativement peu de changements dans la composition des grandes espèces fourragères. Cependant, il y a habituellement augmentation de la taille et de la vigueur des rares plantes désirables, nette réduction de la population des annuelles, comme le brome des toits et *Microsteris*, et des adventices vivaces comme l'antennaire négligée, la vergerette multifide et le pâturin non productif de Sandberg. Habituellement, la fétuque scabre ou l'agropyre à épi devient l'espèce la plus abondante en l'espace d'environ 20 ans. Ces graminées finissent par éliminer les espèces moins concurrentielles pour dominer entièrement le peuplement au bout de 30 ans. Parmi les espèces vivaces qui

Bluebunch wheatgrass often dominated sites within the rough fescue zone during the intermediate stages of recovery, approximately 20 to 30 years after fencing. However, rough fescue steadily increased in abundance so that after 30 to 40 years of protection it had outcompeted the wheatgrass and forced it into a minor role. After 50 years, rough fescue provided virtually complete cover on some of the sites. Rough fescue is more palatable and probably more productive than bluebunch wheatgrass. However, it is also more susceptible to grazing damage at certain times in the season. Therefore, if it is to be maintained in the stand, care must be taken in grazing management. Prairie Junegrass and needle-and-thread usually increased in the stand after protection, but decreased again as competition from one or both of the main grasses increased.

After 25 years of protection, increases in forage yields averaging 90% were obtained on the rough fescue sites, mostly because of the increase in the abundance of climax grasses. Increases in this yield from ponderosa pine sites were in the order of 125%.

It took longer for sites to recover from poor to fair range condition than it did from fair to good. This observation has important implications from both ecological and management standpoints. Long periods of rest are not usually an economically acceptable form of range rehabilitation. One choice is to graze only during the season that is least damaging to the herbage, i.e., moderate fall or winter grazing. The other is to seed domestic grasses, in which case the cost of seeding has to be balanced against the present condition of the range, the length of time required for recovery, and the expected forage yield increase.

Dr. McLean is a research scientist and Mrs. Wikeem is a technician at Agriculture Canada's Range Research Station, Kamloops, British Columbia.

se raréfient ou viennent à disparaître, on compte la bigelavie puante, le carex prépu, l'armoise rustique, le pissenlit et la drave arabette. L'armoise tridentée, espèce dominante dans les endroits de plus basse altitude, perd de l'importance sans perdre sa place dans le peuplement.

L'agropyre à épi domine souvent aux endroits où pousse la fétuque scabre au cours des stades intermédiaires de la régénération, environ 20 à 30 ans après la pose des clôtures, mais ensuite cette dernière prolifère pour finir par dominer complètement l'agropyre et le réduire à un rôle de second plan dans les peuplements protégés depuis 30 ou 40 ans. Après 50 ans, la fétuque scabre couvre presque complètement certains endroits. Cette plante est plus appétible et probablement plus productive que l'agropyre à épi mais est aussi plus sensible à la paissance à certains moments de l'année. Par conséquent, la conduite du pâturage est des plus importantes si l'on veut préserver le peuplement. Habituellement, le koelaria accrêté et la stipe chevelue prennent de l'importance dans le peuplement protégé mais affichent un recul dès que s'accentue la concurrence de l'une ou l'autre graminée.

Après 25 ans de protection, on assiste à une augmentation moyenne de 90 p. 100 du rendement fourrager dans les endroits peuplés de fétuque scabre, en raison surtout de l'abondance accrue des graminées du climax. Enfin, le rendement s'accroît de l'ordre de 125 p. 100 dans les peuplements de pins ponderosa.

Le fait que la régénération d'un parcours est plus longue entre l'état pauvre et l'état passable qu'entre l'état passable et l'état bon a d'importantes retombées du point de vue écologique et phytotechnique. Ainsi, une longue période de repos n'est habituellement pas rentable pour le rétablissement des parcours. Une des solutions consiste à n'autoriser le pâturage que durant la partie de l'année la moins dommageable pour les plantes, soit au milieu de l'automne ou en hiver. Une autre est d'ensemencer les parcours avec des graminées indigènes, auquel cas on doit évaluer le coût de l'ensemencement en fonction de la condition actuelle du parcours, de la durée de la régénération et de l'augmentation prévue du rendement fourrager.

M. McLean est chercheur et M^me^ Wikeem est technicienne à la Station fédérale de recherches agricoles sur les parcours de Kamloops (C.-B.)

New swather attachment helps farmers to trap snow

W. Nicholaichuk

Limited rainfall in the brown and dark brown soil zones of the Prairies has convinced most farmers in the area that they must depend upon summerfallow as a means of conserving moisture for better crop production. Frequent summerfallowing has contributed to increased soil salinity, soil erosion and fertility loss. Shortage of moisture has inhibited the adoption of crop rotations more conducive to soil maintenance. This article describes a new addition to harvesting equipment that leaves strips of tall stubble to trap snow. Possible increased moisture results are discussed.

Un nouvel accessoire aide à retenir la neige dans les champs

W. Nicholaichuk

Les faibles précipitations enregistrées dans les zones de sols bruns et brun foncé des Prairies ont convaincu la plupart des agriculteurs de cette région de la nécessité de recourir à la jachère comme moyen de conserver l'humidité en vue d'obtenir de meilleurs rendements. Les jachères fréquentes ont contribué à accroître la salinité et l'érosion des sols et à en diminuer la fertilité. La pénurie d'eau a empêché l'adoption d'assolements favorisant une meilleure conservation du sol. Le présent article décrit un nouveau dispositif s'adaptant au matériel de récolte et permettant de laisser des bandes de

The Canadian Wheat Board is asking western farmers to increase grain production by 50% by the year 1990. At the same time, farmers are facing problems of increased dryland salinity, soil erosion due to wind and water, and the rapid decline of organic matter (fertility loss). Various researchers have been advocating extended rotations to combat these problems. However, to make extended rotations a practical reality in the brown and dark brown soil zones, additional stored soil water (normally derived from summerfallowing) is required.

Since 1979, the Swift Current Research Station has been studying the practice of using strips of tall-standing stubble to trap extra moisture. Through contract research with the University of Saskatchewan, followed by further work by Ben Dyck of the Swift Current Research Station, a simple device, called a deflector, has been designed and built. This can be readily attached to any make of swather or straight combine header, and makes it possible to cut off the heads of tall-standing stubble without losing a significant amount of yield (less than 20 kg/ha). The double deflector is designed to leave two strips of tall stubble side by side.

Essentially, the deflector bends the stalks of grain to the side before they get to the cutter bar. The result is stubble that is longer than the stalks that are cut when standing upright. The differential length is determined by how far the stalk is bent before cutting. A lifter finger on each of the deflectors ensures that the heads get cut and are deposited onto the draper.

Results from the 1981-1982 winter were encouraging. Snow that was trapped ranged in depth from 26 to 48 cm, a water equivalent of 7 to 14 cm. The snow accumulation in the check plot of uniform stubble varied in depth from 14 to 17 cm — a water equivalent of 4 to 5 cm. The resulting stored water ranged from 3 to 6 cm in the check plot compared to 4 to 14 cm in the plots with the strips.

Producers must recognize that stored water from trapped snow is highly variable. Late fall rains, winter chinooks, slope exposure, soil type, and the rate of spring thaw can all affect the benefits gained from snow trapping. Results from 9 years of evaluating other snow trapping methods have confirmed this.

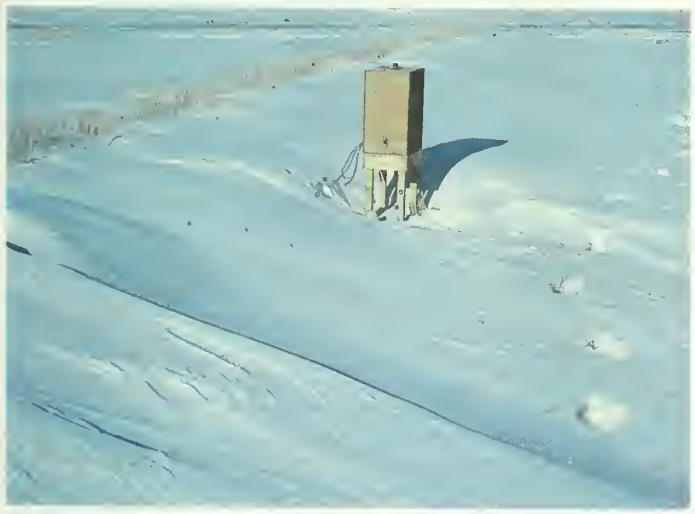


Photo 1. Note the ridge of snow that has formed along the tall stubble strip.

Photo 1. À noter l'accumulation de neige le long de la bande de chaumes élevés.

chaumes élevés de manière à retenir la neige. On y étudie la possibilité d'accroître de cette façon les réserves hydriques du sol.

Au moment où la Commission canadienne du blé demande aux céréaliculteurs de l'Ouest d'accroître de 50 p. 100 leur production d'ici 1990, ceux-ci sont aux prises avec les problèmes de la salinité accrue des terres, de l'érosion éolienne et hydrique du sol, et de la perte rapide de sa matière organique (baisse de fertilité). Divers chercheurs ont préconisé des assolements de longue durée pour résoudre ces problèmes. En pratique, toutefois, cela nécessiterait, dans les zones de sols bruns et brun foncé des Prairies, des réserves d'eau supplémentaires qui ne peuvent normalement être obtenues que grâce aux jachères.

Depuis 1979, la Station de recherches de Swift Current étudie la pratique consistant à laisser des bandes de chaumes élevés afin de retenir de l'humidité supplémentaire. Un contrat de recherches exécuté par l'Université de la Saskatchewan et le travail de mise au point effectué par Ben Dyck de la Station de recherches de Swift Current ont débouché sur la conception et la construction d'un dispositif simple appelé déflecteur, pouvant s'adapter à tout modèle courant d'andaineuse ou de moissonneuse-batteuse. La déflecteur permet de couper les épis en laissant des chaumes élevés, sans perte importante de rendement (moins de 20 kg/ha ou 0,06 bois./acre). Le double déflecteur est conçu pour laisser deux bandes de chaumes élevés côte à côte. En fait, le déflecteur courbe les tiges de céréales sur le côté, avant qu'elles n'arrivent à la barre de coupe. Le résultat est un chaume plus long que si l'épi avait été coupé à la verticale. La différence de longueur est fonction de la distance sur laquelle la tige est courbée avant la coupe. Chaque déflecteur est pourvu d'un releveur d'épis, de manière à s'assurer que ceux-ci soient bel et bien coupés et déposés sur le convoyeur.

Les résultas obtenus au cours de l'hiver 1981-1982 sont encourageants. La profondeur de la neige retenue variait de 26 à 48 cm, ce qui donne un équivalent en eau de 7 à 14 cm. L'accumulation de neige dans les parcelles témoins (chaumes de longueur uniforme) a varié de 14 à 17 cm, soit un équivalent en eau de 4 à 5 cm. L'eau emmagasinée au cours de l'hiver a varié de 3 à 6 cm dans la parcelle témoin, et de 4 à 14 cm dans les parcelles comportant des bandes de chaumes élevés.

Les producteurs doivent être conscients que l'eau emmagasinée par suite de l'accumulation de la neige varie considérablement. Les pluies tardives d'automne, les chinooks d'hiver, l'exposition de la pente, le type de sol et la rapidité du dégel printannier sont tous des facteurs susceptibles d'in-

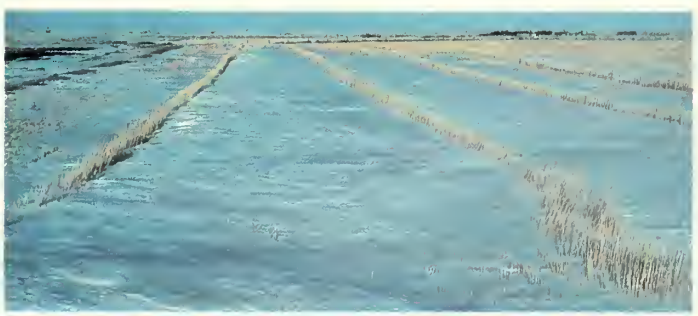


Photo 2. The stubble strips act much like snow fences.

Photo 2. Les bandes de chaumes jouent le même rôle que des clôtures à neige.

The use of strips of tall-standing stubble has created strong interest among producers. The major advantage of this approach is that there is practically no cost involved, since the barrier is simply a product of the normal harvest operation. If conditions are appropriate, additional water equivalent to 21 months of summerfallowing is made available for extending the crop rotation. If snow trapping conditions are not ideal, the producer can return to his normal cultural management practices.

Dr. Nicholaichuk is a research scientist at Agriculture Canada Swift Current Research Station.

fluer sur les bénéfices tirés de la rétention de la neige. Cela est corroboré par les résultats de neuf années d'évaluation d'autres pratiques de rétention de la neige.

L'utilisation de bandes de chaumes élevés a suscité beaucoup d'intérêt chez les producteurs. Le principal avantage de cette méthode est qu'elle n'entraine pratiquement aucun déboursé, étant donné que la barrière est mise en place dans une opération de récolte normale. En conditions favorables, il est possible d'emmagasiner de l'eau supplémentaire équivalant à 21 mois de jachère, ce qui permet des assolements de plus longue durée. Lorsque les conditions de rétention de la neige ne sont pas idéales, le producteur peut toujours revenir à ses pratiques culturales normales.

M. Nicholaichuk est chercheur à la Station de recherches d'Agriculture Canada à Swift Current (Sask.).

The effects of delayed chilling, hot-boning, and electrical stimulation on cooking losses from, and palatability attributes of beef

by L.E. Jeremiah and A.H. Martin

A study of the effects on the palatability of different ways of handling beef carcasses is described. The scope of the study, concentrating on loin, top round and shoulder cuts, included conventional chilled, delayed chilled, and hot-boned carcasses. Electrically stimulated and unstimulated muscle for each cut was also tested. Conclusions reached were that both delayed chilling or electrical stimulation had little effect on palatability but hot-boning made the muscle less tender.

Boxed beef fabrication and distribution is rapidly increasing in prominence as a system for merchandising retail beef in North America. This development has created a considerable amount of interest in other techniques to improve efficiency in the beef industry. The boning of unchilled carcasses has been shown to be feasible and is reported to improve processing efficiency by reducing cooler space, energy requirements, and transportation costs. Steaks and roasts from hot-boned beef carcasses have been reported to be equal or superior to their cold-boned counterparts in most quality and palatability attributes and to be organoleptically acceptable when carcasses are conditioned at 16°C for 8 hours. However, tenderness has been reported to be markedly influenced by conditions prevailing during the prerigor period, which promote muscle contraction and shortening, with concomitant toughening. Such shortening has been observed to produce a five-fold decrease in tenderness, thereby rendering some muscle virtually unedible. The extent of such toughening has been reported to be dependent upon the physical restraint imposed upon the muscle during the prerigor period. Therefore, severing the muscle-to-bone attachments during the prerigor period may promote cold-induced toughening, and various workers have reported that muscle excised prerigor was less tender than that excised postrigor. Other workers have indicated that individual muscles vary in their tenderness response to hot-boning and have observed small or nonsignificant differences in tenderness

Refroidissement retardé, désossage à chaud et stimulation électrique du boeuf

L.E. Jeremiah et A.H. Martin

On a étudié l'influence de divers traitements des carcasses de boeuf sur l'appétibilité de certains morceaux, soit le contre-filet, l'intérieur de ronde et la pointe d'épaule. Les comparaisons ont porté sur le refroidissement classique des carcasses, le refroidissement retardé et le désossage à chaud, ainsi que le rôle de la stimulation électrique. L'étude donne pour conclusion que ni le refroidissement retardé ni la stimulation électrique n'influent sur l'appétibilité, mais que le désossage à chaud rend le muscle plus coriace.

La préparation et la distribution de boeuf en boîte s'imposent de plus en plus en Amérique du Nord comme méthode de mise en marché de cette denrée au niveau du détail. Cette évolution a suscité beaucoup d'intérêt pour d'autres techniques susceptibles d'améliorer la productivité du secteur bovin. Par exemple, on a établi que le désossage de carcasses non refroidies était faisable et améliorait l'efficience de la transformation en réduisant l'espace de réfrigérateur nécessaire, les besoins en énergie et les coûts de transport. Les biftecks et les rôtis provenant de telles carcasses se sont révélés comparables ou supérieurs à ceux provenant de carcasses désossées à froid pour la plupart des caractéristiques de qualité et d'appétibilité, et acceptables du point de vue organoleptique lorsque les carcasses étaient maintenues à 16 °C pendant 8 heures. Toutefois, on a observé que la tendreté était fortement tributaire des conditions existant avant l'apparition de l'état de rigidité, lesquelles favorisent la contraction et le raccourcissement des muscles, et rendent la viande plus coriace. Dans certains cas, ce raccourcissement a rendu la viande cinq fois plus coriace et, partant, pratiquement immangeable.

Il a été établi que le degré de durcissement est fonction de la pression s'exerçant sur le muscle durant la période précédant la rigidité. Par conséquent, le fait de détacher le muscle de l'os au cours de cette période peut favoriser un durcissement par le froid, et plusieurs chercheurs ont signalé que le muscle excisé avant la rigidité était moins tendre que celui excisé après. D'autres rapports ont fait valoir que les divers muscles variaient en tendreté après un désossage à chaud et

between muscles excised prerigor and postrigor.

Electrical stimulation has been reported to greatly accelerate postmortem glycolysis or the depletion of energy reserves within the muscle after death, resulting in a more rapid onset of rigor mortis. Therefore, this technique may have potential for preventing the cold-induced toughening associated with hot-boning. Numerous reports have indicated that electrically stimulated meat was more tender and that electrical stimulation effectively reduced the tenderness difference between muscles excised prerigor and postrigor. Other reports have demonstrated that short periods of storage immediately postmortem or during rigor mortis and before chilling the carcass (delayed chilling) enhanced the palatability of beef and improved both initial and overall tenderness, reduced shear values, and made connective tissue less perceptible.

The Lacombe Research Station recently completed a study to evaluate the effectiveness of delayed chilling or electrical stimulation for enhancing the palatability of beef and for offsetting the cold-induced toughening associated with hot-boning. The study compared the cooking losses from, and the palatability attributes of, three different muscles (*longissimus dorsi*-loin-eye, *semimembranosus*-top round, and *triceps brachii*-shoulder clod) of carcasses conventionally chilled, delay chilled, and hot-boned. Comparisons were also made of electrically stimulated and unstimulated muscles within each of these three treatments on a total of 60 steer carcasses. Conventionally chilled carcasses were chilled immediately after slaughter at 2°C while delayed chill carcasses were held for 2 hours at 12.5°C before chilling. Hot-boned carcasses had the three muscles removed immediately after carcass splitting. Electrical stimulation (550V AC, 50 to 60 cycles/s) in 20 pulses of 3 seconds duration interspersed with resting intervals of 3 seconds duration — was applied to the right sides of conventional and delayed chill carcasses immediately after carcass splitting and to the excised muscles of the right sides of hot-boned carcasses immediately after excision.

Results indicated that in general both delayed chilling and electrical stimulation failed to significantly affect any of the palatability attributes evaluated (initial and overall tenderness, juiciness, flavor intensity, and connective tissue perceptibility) or total cooking losses. Hot-boning, as expected, generally made the muscles evaluated less tender and the connective tissue more preceptible. The *triceps brachii* (shoulder clod) muscle was substantially more adversely affected by hot-boning than either the *longissimus dorsi* (loin-eye) or *semimembranosus* (top round) muscles. In addition, the results from this study further support the conclusion that electrical stimulation and delayed chilling may do little to enhance the palatability of beef, when 6 days or longer are required for it to reach the consumer, as is often the case in North America.

Drs. Jeremiah and Martin are research scientists at Agriculture Canada Research Station, Lacombe, Alberta.

Erratum

Please note on page 12 of *Canada Agriculture* No. 1/1983 that the last column in Table I should have been headed "wheat extension expenditures" rather than repeating the heading of the second last column "wheat research expenditures".

que dans certains cas, les différences de tendreté entre les muscles excisés avant et après la rigidité étaient faibles ou négligeables.

On sait que la stimulation électrique accélère grandement la glycolyse ou l'épuisement des réserves d'énergie contenues dans les muscles après l'abattage, favorisant un établissement beaucoup plus rapide de la rigidité. Par conséquent, cette technique pourrait peut-être prévenir le durcissement par le froid après un désossage à chaud de la carcasse. De nombreux rapports ont confirmé que les viandes stimulées électriquement étaient plus tendres et que la stimulation électrique réduisait effectivement l'écart de tendreté entre les muscles excisés avant et après l'établissement de la rigidité. Selon d'autres rapports, de courtes périodes d'entreposage, immédiatement après l'abattage ou au stade de la rigidité et avant le refroidissement de la carcasse (refroidissement retardé), améliorent l'appétibilité du boeuf ainsi que sa tendreté initiale et globale, réduisent la résistance au tranchage et rendent les tissus connectifs moins perceptibles.

On a terminé récemment à la Station de recherches Lacombe une étude visant à évaluer l'efficacité du refroidissement retardé, de la stimulation électrique, ou des deux, dans l'amélioration de l'appétibilité du boeuf et la prévention du durcissement par le froid après désossage à chaud. Les chercheurs ont comparé les pertes à la cuisson et les caractéristiques d'appétibilité de trois différents muscles (*longissimus dorsi*-contre filet, *semimembranosus*-intérieur de ronde et *triceps brachii*-pointe d'épaule) provenant de carcasses soumises au refroidissement classique, au refroidissement retardé et au désossage à chaud. On a également évalué, sur un total de 60 carcasses de bouvillon, les effets de la stimulation électrique pour chacun de ces trois traitements. Le refroidissement classique consistait à soumettre les carcasses à une température de 2 °C immédiatement après l'abattage, tandis que dans le refroidissement retardé, on les a maintenu pendant 2 heures à 12,5 °C avant de les refroidir. On a retiré les trois muscles susmentionnés des carcasses désossées à chaud immédiatement après la fente de la carcasse. Une stimulation électrique (550V (CA-50 à 60 cycles/s) en 20 pulsations de 3 secondes séparées par des intervalles de repos de 3 secondes également) a été appliquée aux côtés droits des carcasses refroidies selon les deux méthodes à l'étude, immédiatement après la fente de celles-ci, et aux muscles des côtés droits des carcasses désossées à chaud, immédiatement après l'excision.

Les résultats révèlent qu'en général, ni le refroidissement retardé ni la stimulation électrique n'ont influé sensiblement sur les caractères d'appétibilité évalués (tendreté initiale et globale, jutosité, intensité de la saveur et perceptibilité des tissus connectifs) ou sur les pertes totales à la cuisson. Comme prévu, le désossage à chaud a généralement rendu les muscles plus coriaces et les tissus connectifs plus perceptibles. Le muscle *triceps brachii* (pointe d'épaule) s'est ressenti des effets néfastes du désossage à chaud de façon beaucoup plus marquée que le *longissimus dorsi* (contre filet) ou le *semimembranosus* (intérieur de ronde). En outre, les résultats de l'étude corroborent une conclusion déjà partagée par beaucoup de chercheurs, selon laquelle la stimulation électrique et le refroidissement retardé contribuent peu à améliorer l'appétibilité du boeuf, lorsqu'il faut compter 6 jours ou plus avant qu'il n'atteigne le consommateur, comme c'est souvent le cas en Amérique du Nord.

MM. Jeremiah et Martin sont chercheurs à la Station de recherches d'Agriculture Canada à Lacombe (Alb.).

Canada